

## **Zur (informatischen) Modellbildung im Methodengefüge der Wissenschaft – Zur revolutionären Rolle der Methoden in der Wissenschaft**

### *1. Modell und Erkenntnis in den Biowissenschaften und im Umweltbereich*

Der Untertitel war auch der einer gemeinsam mit meinem Lehrer Professor Samuel Mitja Rapoport verfassten Arbeit zu diesem Thema<sup>1</sup>, die leider aufgrund der Beendigung der Zeitschrift: „Medizin und Gesellschaft“ nach 1989 nicht mehr veröffentlicht wurde, von der ich hier viel wörtlich verwenden werde. Der von S. M. Rapoport inspirierte Grundgedanke war, dass für den Erkenntnisfortschritt die Methode eine revolutionäre Rolle spielt<sup>2</sup> und heute die Modellmethode im Besonderen, denn der Gegenstand einer Wissenschaft hat dagegen eher konservativen Charakter. Durch die Veränderung der Methoden können sich bestimmte Forschungsfelder erst herausbilden, so zum Beispiel erst durch die Entwicklung des Mikroskops und der Mikroskopie das Forschungsgebiet der Zellulärpathologie.

Sprechen wir vom Methodenensemble, so soll hier zwischen der historischen, beobachtenden, experimentellen, theoretischen und mathematischen sowie der Modellmethode unterschieden werden, die Spezifik der Modellmethode aufgezeigt und ihr Verhältnis zu den anderen Forschungsmethoden angesprochen werden.

#### *1.1. Die Revolutionäre Rolle von Methoden in der Wissenschaft*

Eine wissenschaftstheoretische Analyse moderner Wissenschaftsentwicklung wird nicht an der Tatsache vorbei gehen können, dass die Rolle der Methoden in einem besonderen Masse zugenommen hat und dass diese Tendenz sich auch in Zukunft fortsetzen wird.

Das Niveau und die Verfügbarkeit<sup>3</sup> von hochleistungsfähigen Methoden bzw. wissenschaftlichen Geräten (Forschungstechnologie, speziell auch moderne Informations- und Kommunikationstechnologien) bestimmen in hohem Masse den Rang

- 1 Fuchs-Kittowski, K. / Rapoport, S. M., Modell und Erkenntnis in der Medizin und im Gesundheitswesen, sollte 1989 in einem thematischen Heft der Zeitschrift Medizin und Gesellschaft erscheinen.
- 2 Rapoport, S. M., Zur revolutionären Rolle von Methoden in der Wissenschaft. – In: Plädoyers für einen wissenschaftlichen Humanismus. Hrsg. v. Jupp Schleifstein u. Ernst Wimmer. Wien: Globus Verlag 1981. S. 119 – 127.

und das Profil der Wissenschaft eines Landes. In entscheidendem Masse ist auch der Stand von Produktivkräften und Technik durch die Gesamtheit der Methoden bestimmt. Die Entwicklung wissenschaftlicher Methoden ist ein Kernstück der sich vollziehenden Revolution in den Wissenschaften – heute speziell in den Biowissenschaften sowie in der Entwicklung und Anwendung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien.<sup>4</sup> Ihre Entwicklung wird zu einem entscheidenden Ziel von Forschung und Produktion und begründet somit die Aktualität einer Auseinandersetzung mit der Rolle der Methoden in der Wissenschaft im Allgemeinen und der Modellmethode im Methodenensemble der Wissenschaften im Besonderen.

Was soll unter Methode verstanden werden?

Als Methode wird in der Wissenschaft das Verfahren oder der Weg der Forschung bezeichnet, d.h. das System der Handlungen im Forschungsprozess, aber auch die Art und Weise seiner Organisation. Methode ist aber auch die logische Durchdringung mittels allgemeiner wissenschaftlicher Methoden wie etwa der induktiven und deduktiven Methoden oder der analytischen und der synthetischen Methoden, die miteinander in widersprüchlichem Verhältnis stehen. Unter dem Begriff der Methode werden allgemeinwissenschaftliche Methoden wie: Beobachtung, Experiment, Modellmethode und die historische Methode, aber auch spezielle Verfahren subsumiert, welche die Qualität der Primärinformation und ihre Bearbeitung bestimmen.

Methoden sind materielle und ideelle Mittel der wissenschaftlichen Erkenntnis. Mit Hilfe von methodischen Verfahrensweisen und Geräten (Forschungstechnologien) gilt es wissenschaftliche Erkenntnisse zu gewinnen. Eine wichtige Gruppe der allgemeinwissenschaftlichen Methoden, die wir hier betrachten, wenn vom Methodenensemble gesprochen wird, betrifft die theoretische Durchdringung von komplexen und komplizierten lebenden Systemen mit Hilfe der Modellmethode.

In steigendem Maße ist die moderne Wissenschaft auch durch die Vereinigung von analytischen und integrativen Methoden der Erkenntnis gekennzeichnet. In diesem Zusammenhang ist das Modell von zentraler Bedeutung, denn Modelle fußen auf einer breiten Basis von Daten, die mit analytischen Methoden gewonnen wurden und werden auf Grund von theoretischen Prinzipien entwickelt. Modelle stellen

3 Parthey, H., Forschungssituation interdisziplinärer Arbeit in Forschungsgruppen. – In: Interdisziplinarität in der Forschung. Hrsg. v. Heinrich Parthey u. Klaus Schreiber. Berlin Akademie Verlag 1983. S. 13 – 46; Zur methodologischen Struktur der Forschungssituation siehe auch Parthey, H., Forschungssituation und Forschungsinstitut – Analyse ihrer Formen und Beziehungen. – In diesem Jahrbuch.

4 Pilgrim, J. / Fuchs-Kittowski, K., Interdisziplinäre Funktion der Informationstechnologie in der biowissenschaftlichen Forschung. – In: Interdisziplinarität in der Forschung. Hrsg. v. Heinrich Parthey u. Klaus Schreiber. Berlin: Akademie Verlag 1983. S. 277 – 301; Fuchs-Kittowski, K. / Rosenthal, H. A. / Rosenthal, A., Die Entschlüsselung des Humangenoms – ambivalente Auswirkungen auf Gesellschaft und Wissenschaft. – In: Erwägen Wissen Ethik (EWE). 16(2005)2, S. 149 – 162.

eine relative Synthese von Erkenntnissen dar, die aus unterschiedlichen Sichten und fast immer mit verschiedenen Methoden gewonnen werden.

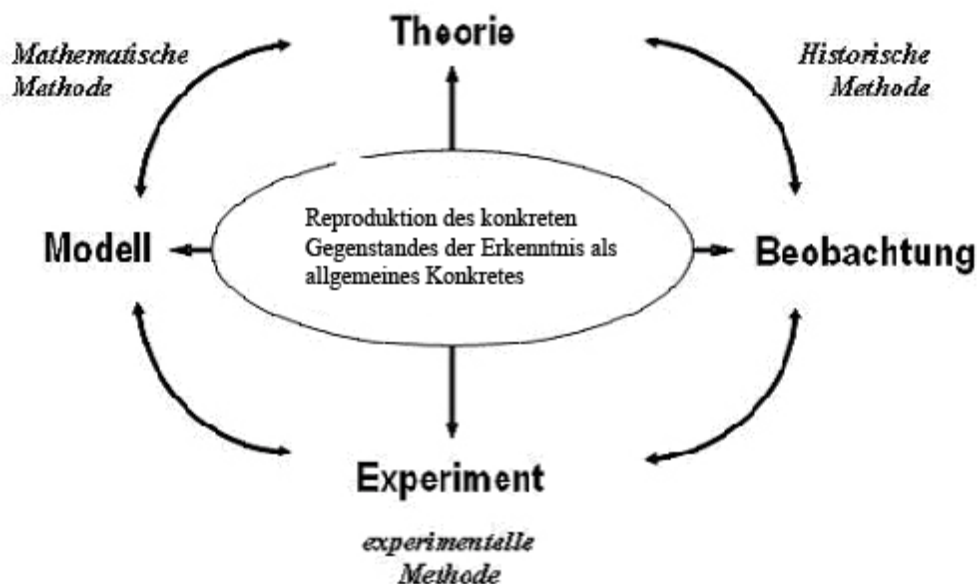
Zur Differenzierung zwischen wissenschaftlichen Methoden

Die Wissenschaft bedarf wissenschaftlicher Methoden zur Erzeugung wissenschaftlichen Wissens. Im Wesentlichen werden hier drei grundsätzliche Methoden unterschieden: a) die historische Methode, b) die theoretisch-mathematischen Methode und c) die experimentelle Methode.<sup>5</sup>

Die mit der Modellierung/Simulation meist nur gering verbundene Methode ist die historische Methode (obwohl innerhalb dieser Methode auch Modelle genutzt werden können), bei der auf Quellen aus der Vergangenheit zurückgegriffen wird, die kritisch ausgewählt und interpretiert werden. Die entscheidende Grundlage der Wissenschaftsmethodologie bilden Theorie und Experiment, damit die theoretisch-mathematische und die experimentelle Methode.

Die theoretischen Vorstellungen und Überlegungen die der Formulierung eines wissenschaftlichen Problems zugrunde liegen und mit Hilfe der Sprache, der Mathematik modellhaft dargestellt werden können, ermöglichen die Formulierung wesentlicher Zusammenhänge bzw. Gesetze, die dann durch Beobachtung und Experiment zu bestätigen sind. Oder es werden auf der Grundlage durch Beobachtung und Experiment gewonnener Daten, empirisch nachweisbare und reproduzierbare Ergebnisse auf die zugrunde liegenden wesentlichen Zusammenhänge, Gesetze, geschlos-

Abbildung 1: Modellmethode im Methodengefüge der Wissenschaften



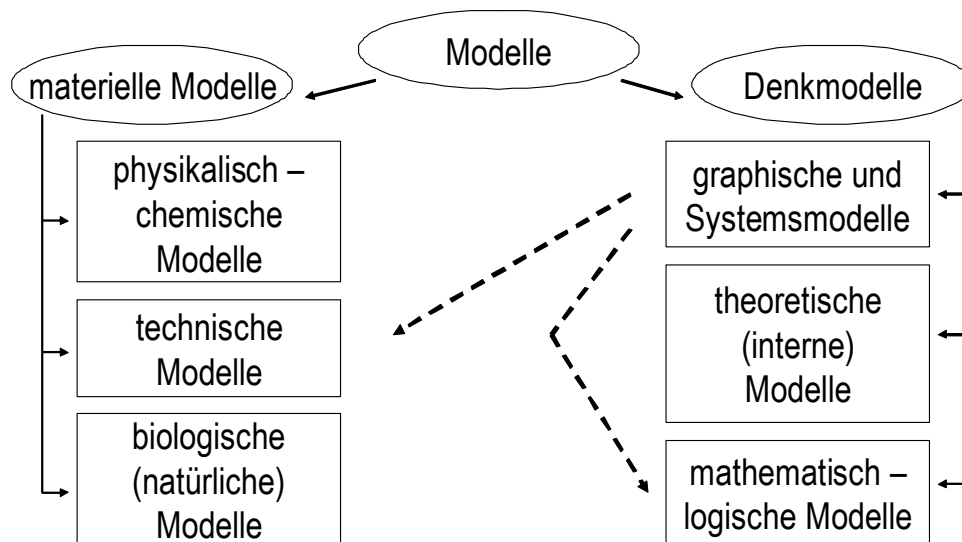
5 Parthey, H. / Wahl, D., Die experimentelle Methode in Natur- und Gesellschaftswissenschaften. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften 1966.

sen. Neben bzw. verflochten mit diesem klassischen Konzept der Verschmelzung von Theorie und Experiment gibt es nun eine davon unterschiedene, nicht abweichende sondern ergänzende Möglichkeit zur Erforschung der Erkenntnisobjekte: die informatische Modellierung bzw. Computersimulation.<sup>6</sup> Ein informatisches Modell ist ein symbolisches Modell, das einen Code zur Grundlage hat, der auf einem Rechner dargestellt und interpretiert werden kann.<sup>7</sup> Auch in diesem Sinne sprechen wir von der Modellmethode.

Die mit dem Einsatz der modernen Computertechnologie verbundene Computersimulation ist ebenfalls als eine revolutionäre Methode anzusehen. Hier verschmelzen die in Abbildung 1 angeführten allgemeinwissenschaftlichen Methoden in neuer Form.

Grundlage einer solchen Modellierung/Simulation ist hierbei immer ein im Simulationswerkzeug physisch implementiertes, lauffähiges Modell, an dem nun die Experimente virtuell ausgeführt werden können. Den zuvor genannten allgemeinwissenschaftlichen Methoden gemein ist die Entstehung des Modells aus der Theorie (bzw. aus dem gedanklichen Modell), die die Grundlage für die Durchführung von Experimenten zur Gewinnung von Daten über das Original ist (siehe Abbildung 2).

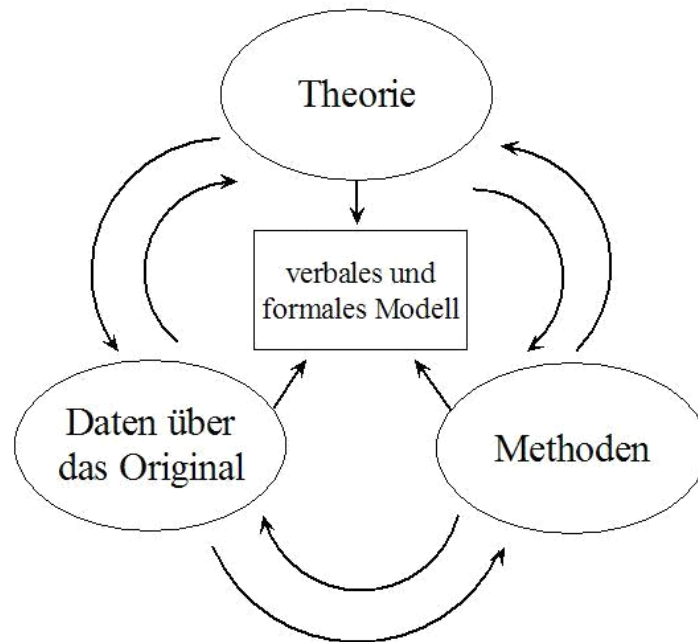
Abbildung 2: Unterscheidung zwischen materiellen und Denkmodellen



6 Manthey, Ch., Modellierung und Simulation im Umweltbereich – Zur revolutionierenden Rolle der (Modell-) Methode in den Wissenschaften und in der Debatte um die Zukunft der Menschheit, Belegarbeit, Betriebliche Umweltinformatik, Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin 2005; Page, B., Diskrete Simulation – Eine Einführung mit Modula2. Berlin-Heidelberg-New York: Springer – Verlag 1991.

7 Horn, E., Vortrag in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 15. Mai, 2003

Abbildung 3: *Wechselbeziehungen Theorie, Daten und Methoden bei der Modellentwicklung*



Ein wesentlicher Unterschied ist nun aber damit gegeben, dass bei der Simulation Eigenschaften des Modells als Objekt des Experiments dienen.

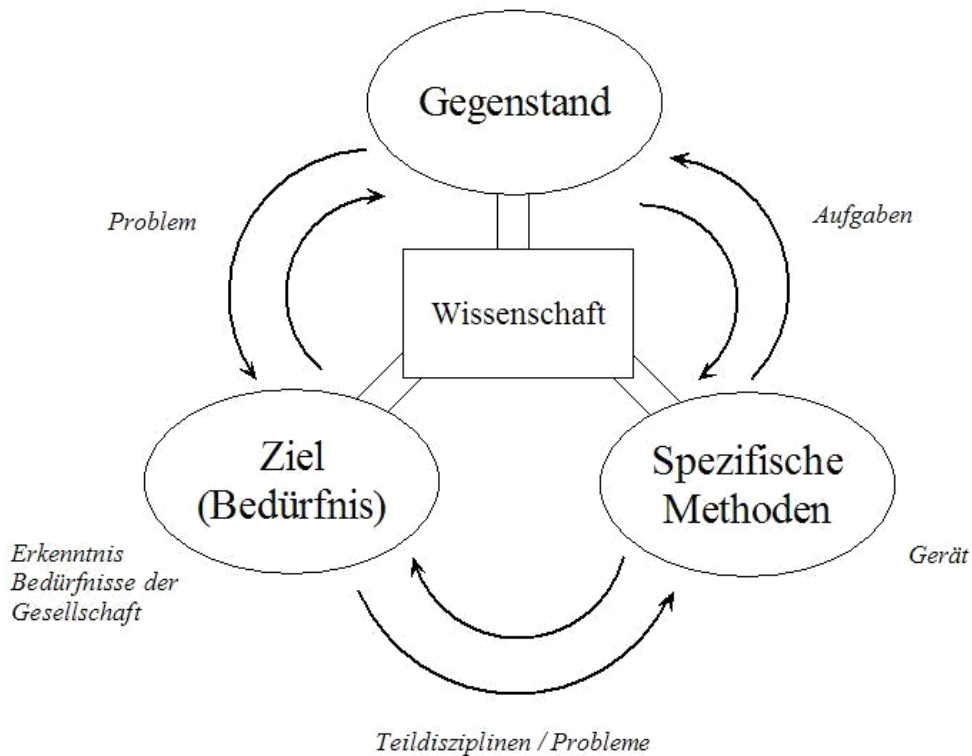
Entscheidend ist, dass hier meist auch die Einseitigkeit der Einzelmethoden durch produktive Wechselwirkung (vgl. Abbildung 3) in einem theoretisch determinierten Rahmen überwunden wird.

Ein verbales und formales Modell ist bestimmt durch:

1. die Wahl der Theorie,
2. die Daten aus den Experimenten und Beobachtungen mit dem Objekt und
3. den Einzelmethoden.

Aufgrund der starken wechselseitigen Abhängigkeiten hat die Wahl der Theorie einen starken Einfluss auf die beiden anderen Aspekte des Modellierungsprozesses und auf das konzeptionelle (verbal strukturierte) wie auf das formale Modell selbst.

Die auch hier mit Hilfe der Einzelmethoden, unter Nutzung der Mathematik festgelegten statischen und dynamischen Beziehungen der komplex vernetzten einzelnen Komponenten werden einem simulierten zeitlichen Ablauf unterworfen und dabei durch das Werkzeug einer ständigen Beobachtung ausgesetzt, die oftmals menschlichen Sinnen nicht möglich wäre. Die Möglichkeiten des klassischen Experiments werden damit übertroffen bzw. erweitert. Die Wiederverwendbarkeit des physischen Modells ermöglicht die Anpassung der theoretischen Annahmen, durch den Vergleich der experimentellen Ergebnisse mit den aus dem Simulationsexperiment gewonnenen Ergebnissen kann der Erkenntnisfortschritt, die Gewinnung neuer Erkenntnisse am Modell und am realen Erkenntnisobjekt, die Reproduktion des sinnlich Konkreten als gedanklich Konkretes beschleunigt werden.

Abbildung 4: *Die drei Bestandteile der Wissenschaft in ihren Wechselbeziehungen*

Um durch das Simulationsexperiment zu Ergebnissen zu kommen, die durch Beobachtungen am realen Erkenntnisobjekt bestätigt werden können, sind in einem zyklischen Verlauf die Modellparameter schrittweise anzupassen (Parametrisierung) (Siehe Abbildung 4).

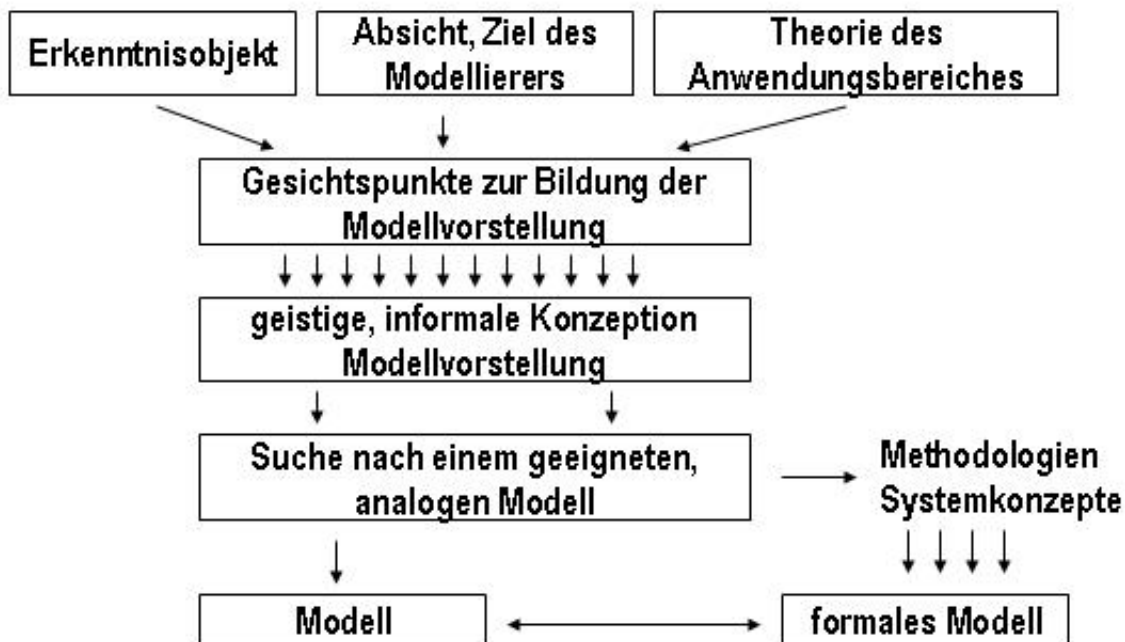
### 1.2. *Gegenstand und Methode – ein miteinander in Beziehung stehendes Kategorienpaar*

Eine Wissenschaft kann praktikabel verstanden werden als Einheit von Gegenstand, Ziel und einem charakteristischen Komplex an Methoden. Dabei ist der Gegenstand ein ziel- und methodenbestimmter Ausschnitt der Realität. Die drei Bestandteile stehen miteinander in mehrfacher Wechselwirkung: Einerseits bestimmt der Gegenstand die Spezifik der Methode. Es ist nur trivial, dass in der Physik physikalische Methoden, in der Chemie chemikalische Methoden und in der Biologie biologische Methoden entwickelt und angewendet werden. In diesem einfachen Verhältnis kommt zum Ausdruck, dass die Natur vor dem Menschen und dieser vor einer Naturwissenschaft existiert hat. Auch das Ziel der Forschungstätigkeit trägt zur Spezifik der angewandten Methoden bei. Es ist vorwiegend gesellschaftlich bestimmt und ist eines der wesentlichen Mittel um Grundlagenwissenschaften von angewandten zu unterscheiden. So kann zum Beispiel ein und dasselbe Objekt Gegenstand einer physikalischen, aber auch von einer oder mehreren technischen Wissenschaften sein. Weiterhin ist zu bemerken, dass das Ensemble der in einer Wissenschaft angewand-

ten Methoden weit über den Bereich der ihr eigentümlichen Verfahren hinausgeht, und zwar um so mehr, je komplexer der Gegenstand ist. So verwendet der Biologe in weitem und noch steigendem Umfang physikalische, mathematische sowie kybernetische und informatische Methoden.

Die Methoden sind jedoch nicht nur eine Funktion des Gegenstandes einer Wissenschaft, sondern sie wirken auf den Gegenstand zurück und wandeln ihn. Darüberhinaus kann durch das Ziel (bzw. Zielfunktion), die Problemstellung verändert und differenziert werden. Somit bilden Gegenstand, Ziel und Methoden eine widersprüchliche (dialektische) Einheit, indem alle drei Bestandteile wechselseitig aufeinander bezogen sind (siehe Abbildung 5).

Abbildung 5: *Der Weg zum formalen Modell*



In der bisherigen Darstellungen wird der Begriff Gegenstand in doppeltem Sinne verwandt, einmal als umfassender Begriff „der Gegenstand der Wissenschaft“, in dem die Methoden des Wissenschaftsgebietes, (wie auch die verwendeten wissenschaftlichen Geräte) mit eingeschlossen sind, zum anderen in einem engeren Sinne, wobei die Methoden bzw. wissenschaftlichen Geräte vom Objekt getrennt werden und sich somit ein Unterschied bzw. relativer Widerspruch zwischen Gegenstand und Methodik entfalten kann. Diese Sicht ermöglicht es, die besondere Rolle und die Dynamik der Methoden bzw. wissenschaftlichen Geräte besser zu beleuchten. Dabei ergibt sich, dass das Erkenntnisobjekt erst durch die Aktivität des Subjekts mit Hilfe der Anwendung von Methoden, d.h. der Durchführung einer konkreten Folge von Operationen als Mittel der Erkenntnis, konstituiert wird. Von den drei

Bestandteilen einer Wissenschaft sind zweifellos die Methoden die veränderlichste, sich am schnellsten bewegende Komponente, verglichen mit dem relativen Konservatismus des Gegenstandes. So ist zum Beispiel der Gegenstand der Blutforschung seit ihrer Konstituierung als Spezialdisziplin der Medizin vor über hundert Jahren – das Blut. Die Auffächerung des Gebiets in hochspezialisierte Disziplinen wie Serologie, Erythrozytenforschung, Kreislaufphysiologie usw. ist durch die methodische Entwicklung bestimmt. Somit kommt der Methode die revolutionierende Rolle in der Entwicklung der Wissenschaften zu. Sie stellt ein Mittel dar, welches bestimmte Tätigkeiten erst ermöglicht.

Wenn wir von der revolutionierenden Rolle der Methoden sprechen, so drückt sich darin auch aus, dass ein Erkenntnisobjekt erst durch das Erkenntnissubjekt konstituiert wird. Ein Erkenntnisobjekt ist ein Teilbereich der Realität, der mit bestimmten Zielen unter Anwendung materieller und geistiger Methoden und Techniken bearbeitet wird, die dem historischen Stand der Produktivkräfte und der Organisations- und Produktionsverhältnisse entsprechen. Somit ist die Anwendung der Methoden eine spezifische Form der aktiven Tätigkeit des Menschen.

In seiner berühmten ersten These über Feuerbach schrieb Karl Marx: “Der Hauptmangel allen bisherigen Materialismus – den feuerbachschen mit eingerechnet – ist, dass er den Gegenstand, die Wirklichkeit, Sinnlichkeit nur unter der Form des Objektes oder der Anschauung gefasst wird nicht aber als menschliche sinnliche Tätigkeit, nicht subjektiv. Daher geschah es, dass die tätige Seite, im Gegensatz zum Materialismus, vom Idealismus entwickelt wurde – aber nur abstrakt, da der Idealismus natürlich die wirkliche, sinnliche Tätigkeit als solche nicht kennt“<sup>8</sup>

Eine Überbetonung der entscheidenden Rolle der Methoden für die Erkenntnis kann eine Quelle für erkenntnistheoretische Verzerrungen werden. So wurde bekanntlich bei einer positivistischen Deutung der Erkenntnisse der Kopenhagener Schule der Quantenphysik das Gerät bzw. die angewandte Methodik vorwiegend als Störfaktor betrachtet. Selbstverständlich kann an der Tatsache der Störung des elementaren Erkenntnisobjektes der Physik durch den Mess-Eingriff bei der Beobachtung nicht gezweifelt werden. Die Kritik an der positivistischen Interpretation muss darin bestehen, dass die Erkenntnis allein in der passiven Beobachtung gegebener Objekte aufgefasst wird, und somit die Tätigkeit als Störfaktor der Erkenntnis erscheint. Vielmehr entsteht umfassende und fortschreitende Erkenntnis erst durch die Anwendung einer Vielzahl sich ergänzender Methoden, also gerade durch die Ergebnisse der die uns umgebenden Realität verändernden Tätigkeit.

8 Marx, K., Thesen über Feuerbach. – In: Marx-Engels-Werke, Band 3. Berlin: Dietz Verlag, S. 533.



### 1.3. *Einheit von Problem, Methode und Gerät*

Es sei hier noch auf die funktionelle Einheit von Problem und Methode sowie Gerät hingewiesen. In den experimentellen Wissenschaften ist häufig das Gerät (plus Software) als Vergegenständlichung einer Methode von entscheidender Bedeutung.<sup>9</sup>

Die Formulierung eines Problems schließt zu seiner Lösung die Bewertung der zur Verfügung stehenden personellen und gegenständlichen Möglichkeiten ein. Dabei tritt das Forschungspersonal als Träger methodischer Kenntnisse auf; unter den materiellen Möglichkeiten spielen die Geräte eine entscheidende Rolle. Es wird zu einem wichtigen Faktor für die Verbreitung einer Methode, inwieweit das für sie erforderliche Gerät als Massenprodukt der Geräteindustrie (und Softwareproduktion) zur Verfügung gestellt werden kann. Methode und Gerät sind vielfach multivalent einsetzbar und gewähren ihrem Urheber bzw. Erstproduzenten ein relatives Monopol in der Wissenschaftsentwicklung, das solange fortbesteht, bis es durch vielfache Nachentwicklung oder durch Massenproduktion aufgehoben wird. Für diese strategische Rolle von Methoden gibt es eine Vielzahl von Beispielen.

Die Auswahl der realisierbaren Methoden – verglichen mit der unendlichen Mannigfaltigkeit denkbarer Bearbeitungsmöglichkeiten – wird durch die Begrenztheit der verfügbaren Kräfte und Mittel bestimmt, die an einem Ort und zu einem gegebenen Zeitraum verfügbar sind.

Probleme werden, allgemein gesprochen, vom Erkenntnisbedürfnis der Gesellschaft abgeleitet, sei es ein unmittelbares gesellschaftliches Interesse, das an die Wissenschaft herangetragen wird, sei es eine Fragestellung, die aus der Entwicklung einer Wissenschaft selbst stammt. Zwischen Bedürfnis, Problem und Methode besteht eine wechselseitige Beziehung.<sup>10</sup> So führt ein Bedürfnis zu konkreten Zielen und zur Formulierung von Problemen, die wiederum die Anwendung vorhandener bzw. die Entwicklung neuer Methoden bedingt, während umgekehrt Methoden erst Bedürfnisse wecken und zu neuen Problemen führen können. Auch eine Problemstellung führt mit ihren Lösungen zu neuen Bedürfnissen, die wiederum Anforderungen stellen.

Wissenschaftliche Erkenntnis stellt entsprechende Begriffssysteme dar, geht doch jeder Denkprozess nur auf der Grundlage von Begriffen und ihren Verknüpfungen vor sich. Im Gegensatz zum allgemeinen Sprachgebrauch, dessen Ausdrücke Mehr-

9 Fuchs-Kittowski, K. / Lemgo, K. / Mühlenberg, E., Zur Unterscheidung von wissenschaftlichen Begriffen und zur Differenzierung von Informationen als eine theoretische Grundlage für den Einsatz der automatisierten Informationsverarbeitung im Forschungsprozess. – In: *Problem und Methode in der Forschung*. Hrsg. v. Heinrich Parthey. Berlin: Akademie Verlag 1978. S. 128 – 168.

10 Parthey, H., Das Problem und Merkmale seiner Formulierung in der Forschung. – In: *Problem und Methode in der Forschung*. Hrsg. v. Heinrich Parthey. Berlin: Akademie Verlag 1978. S. 11 – 36.

deutigkeiten und Unschärfen enthalten und nur einem langsamen Bedeutungswandel unterliegen, verhält es sich mit Begriffen der Wissenschaftssprache anders. Im Prozess der wissenschaftlichen Erkenntnis werden die Begriffe ständig überprüft, präzisiert und modifiziert mit dem Ziel ihrer Adäquatheit und Eindeutigkeit. Bei diesem kontinuierlichen Prozess spielen Methoden eine entscheidende Rolle, sei es im Gewinnen neuer Informationen, sei es in ihrer Fähigkeit zu Diskreminationen oder durch die präzise Angabe von Gültigkeit und Grenzen der Aussage. Sie sind entscheidend für die Vergleichbarkeit wissenschaftlicher Daten. Eine große Zahl internationaler Standards, die durch Konventionen zustande kommen, ist an bestimmte Methoden geknüpft. Somit spielen Methoden notwendigerweise auch für das Begriffssystem der Wissenschaften eine Rolle. Die Anwendung von Methoden führt fortschreitend zur Systematisierung und Formalisierung der wissenschaftlichen Sprache und damit zu ihrer Anpassung an die Nutzung der automatisierten Datenverarbeitung (vgl. Abbildung 1 und Abbildung 6).

## *2. Zu den Hauptmerkmalen des Modells und den Elementen des Prozesses der Modellierung*

### *2.1. Charakteristische Merkmale eines Modells*

„Modell“ ist in den letzten Jahren in den Bio- und Humanwissenschaften und damit auch in der Medizin und in der Umweltforschung zu einem häufig verwendeten Begriff geworden, wobei der Begriffsinhalt einer schnellen Wandlung unterworfen ist. Eine Definition des Begriffes kann daher der Situation in der Medizin und anderen Wissenschaften kaum gerecht werden. Es sollen somit hier nur im Ansatz die Hauptmerkmale eines Modells dargestellt werden. Wir verstehen unter Modellierung eine Abbildung der Verhaltens bzw. der Struktur beliebiger Objekte der Wirklichkeit vermittels einer analogen Verhaltensweise bzw. Struktur und deren Untersuchung.

Das Modell gibt bestimmte Eigenschaften eines Teils der Wirklichkeit im Allgemeinen mit anderen Beschreibungsmitteln wieder. Es ist die materielle oder geistige Reproduktion von Systemen, Prozessen, Beziehungen, Funktionen usw.

Die Modellierung ist also eine Methode des vermittelten praktischen und theoretischen Operieren mit dem Objekt, bei der ein künstliches oder natürliches Hilfs- bzw. Quasiobjekt (Modell) zwischengeschaltet wird, das eine gewisse objektive Übereinstimmung (Analogie) mit dem Erkenntnisobjekt aufweist und dadurch in der Lage ist, einem Erkenntnissubjekt über eine bestimmte Zeit Informationen über das (modellerte) Objekt zu vermitteln.<sup>11</sup>

11 Fuchs-Kittowski, K., Probleme des Determinismus und der Kybernetik in der molekularen Biologie. Jena: Gustav Fischer Verlag 1968 und 2. erw. Aufl., Jena, 1976.

Hieraus ergeben sich die Hauptmerkmale eines Modells:

Das Merkmal:

1. der Abbildung,
2. der Ersetzung,
3. der Abstraktion,
4. der Erklärung,
5. der Vermittlung,
6. der Subjektbezogenheit und
7. der Steuerung/Entwurf.

#### *Zu 1. Merkmal der Abbildung*

Das Modell ist stets eine Abbildung und als solche eine Repräsentation eines natürlichen oder künstlichen Originals (das selbst wieder ein Modell sein kann). Es besteht eine gewisse Übereinstimmung (Analogie) zwischen Modell und modelliertem Objekt. Abbildung ist ein stets zutreffendes Merkmal, denn nichts, was nicht Abbildcharakter hat, wird Modell genannt. Sie sind stets Modelle von etwas.

#### *Zu 2. Merkmal der Ersetzung*

Das Modell ist in der Lage, als relativer Vertreter des zu untersuchenden Objekts zu fungieren. Es muss in der Lage sein, das Original in bestimmter Beziehung in verschiedenen Stufen des Erkenntnisprozesses zu ersetzen und dem Erkenntnissubjekt Informationen über das zu untersuchende Objekt zu vermitteln. Das Ziel ist, durch das Forschungsmodell beim Erkenntnissubjekt eine Vermehrung des Wissens über das Urbild zu erreichen. Die Abbilder sind ihren Urbilder (zu untersuchenden Objekten) nicht eindeutig zugeordnet. Die Modelle erfüllen ihre Ersetzungs- bzw. Repräsentationsfunktion immer nur für bestimmte Fragestellungen der Subjekte und unter eingeschränkten bestimmten gedanklichen oder realen Operationen in bestimmten Zeiträumen.

#### *Zu 3. Merkmal der Abstraktion*

Das Modell befindet sich in einer gewissen Übereinstimmung mit dem Original. Es erfasst jedoch nicht alle Eigenschaften des von ihm repräsentierten Originalsystems, sondern nur die, die vom Modellgestalter hinsichtlich der Ziele der Modellierung als relevant erscheinenden.

#### *Zu 4. Merkmal der Erklärung*

Das Modell ist ein Hilfsmittel zum Erkennen der Wirklichkeit. Modelle werden einmal verwendet als Denkschemata, auf die die zu erklärende Erscheinung zurückgeführt werden soll und zum anderen als Hilfsmittel zum Erkennen neuer Realisierungsmöglichkeiten. Die erkenntnistheoretische Hauptfunktion besteht also darin als Hilfsmittel bei der Erklärung von Erscheinungen zu dienen, einmal als Kon-

kreisierung einer gegebenen Theorie (vgl. V. A. Stoff<sup>12</sup>) zum anderen u. E. jedoch vor allem auch zur Erklärung solcher Erscheinungen, für die noch keine folgerichtige Theorie aufgebaut ist. Das Modell ist im letztgenannten Fall zu verstehen als eine Stufe zur (Hypothese und) Theorie.

#### *Zu 5. Merkmal der Vermittlung*

Das Modell kann verstanden werden als Vermittlung zwischen Experiment und Theorie, als Bindeglied zwischen empirischen und theoretischen Erkenntnissen. Das Modell hat weiterhin eine Funktion der Vermittlung, die nicht nur das Verhältnis von Modell und Objekt betrifft, sondern auch das Verhältnis des Subjekts zum Modell und zum Objekt.

#### *Zu 6. Merkmal der Subjektbezogenheit*

Das Modell erfüllt seine Abbild-, Ersetzungs-, Abstraktions- und Erklärungsfrunktion immer nur für bestimmte Subjekte, die die Ziele der Modellierung bestimmen und unter eingeschränkten gedanklichen und tatsächlichen Operationen in einer bestimmten Zeit tätig sind. Modelle sind also immer abstrahierende Abbildungen, für jemanden, mit einem bestimmten Zweck.<sup>13</sup>

Das Ziel der Modellierung bestimmt die grundlegenden Annahmen und Einschränkungen.

#### *Zu 7. Merkmal der Steuerung und Gestaltung*

Modelle sind nicht nur Mittel der Erkenntnis sondern in zunehmendem Masse auch Mittel der Beherrschung, der Steuerung und Gestaltung der Realität.

Auf der Grundlage der Erkenntnisse über die primären biochemischen Gegebenheiten und Verfeinerung unserer theoretischen Vorstellungen lassen sich Steuermodelle schaffen zur Beherrschung dieser Prozesse für die Produktion.

Die Modellierung ist heute zu einem wesentlichen Bestandteil der Erkenntnis sozialökonomischer sowie ökologischer Zusammenhänge aber in wachsendem Maße auch zu einem Instrument der Steuerung hochkomplizierter Systeme geworden.<sup>14</sup>

12 Stoff, V. A., Modellierung und Philosophie. Berlin: Akademie-Verlag 1969.

13 Steinmüller, W., Eine sozialwissenschaftliche Konzeption der Informationswissenschaft (Informationstechnologie und Informationsrecht) – In: Nachrichten für Dokumentation. 32(1981)2; Steinmüller, W., Informationstechnologie und Gesellschaft – Einführung in die Angewandte Informatik. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1993.

14 System Analysis and Simulation. Hrsg. v. Achim Sydow. Berlin: Akademie-Verlag 1980; Bertalanffy, L. v., Das Modell des offenen Systems. – In: Nova Acta Leopoldina, Biologische Modelle (Leipzig). Band 33 (1968); Fuchs-Kittowski, K. / Gudermuth, P. : Grundfragen der Informatik in Medizin und Biologie. – In: Probleme der Informatik in Medizin und Biologie III. Wissenschaftliches Kolloquium zur Organisation der Informationsverarbeitung. Hrsg. v. Klaus Fuchs-Kittowski, Peter Gudermuth, J. Adam u. Ernst Mühlenberg. Berlin. Akademie-Verlag 1982. S. 21 – 40; Parthey, H. / Schlottmann, D., Problemtypen in den Technikwissenschaften. – In: Erkenntnismethoden in den Technikwissenschaften. Hrsg. v. Gerhard Banse u. Helge Wendt. Berlin: Verlag Technik 1986. S. 44 – 53.

Sie stützen die Gestaltung bzw. Umgestaltung unsere Umwelt entsprechend unseren Bedürfnissen, indem durch Modellexperimente möglichst geeignete Gestaltungsmöglichkeiten herausgefunden werden. Das Modell, im Sinne eines Systemmodells, so z. B die Gestaltung eines betrieblichen Informationssystems und die Entwicklung der entsprechenden Software, dient dem Entwurf, der Konstruktion von Realität.<sup>15</sup>

## *2.2. Zu den Elementen des Modellierungsprozesses: Theorie, Daten und Methodologie der Modellierung*

Mit der Methode der Modellierung entfernen wir uns nicht von der Wirklichkeit, sondern das Modell ist ein Mittel zur Annäherung an sie, ein Mittel zum tieferen Verständnis und zur besseren Beherrschung der Wirklichkeit bzw. zu einer besseren Bewältigung der Probleme. Wie hervorgehoben wurde, zielt die Konstruktion des Modells nicht darauf ab, unsere vollständige Kenntnis des Phänomens nachzuahmen. Bei der Schaffung eines Modells werden mit einer bestimmten Absicht des Modellierers verschiedenen Aspekte bzw. Elemente zusammengeführt, die in ihrer Wechselwirkung bestimmen, wie das Modell gebildet wird:

1. Das Ziel des Modellierers
2. Die relevanten Theorien des Objektbereiches,
3. Die konkreten Daten aus Beobachtungen und Experimenten und
4. Die speziellen Methodologien der Modellierung (vgl. Abbildung 1 und 6)

Ziel, Theorie, Daten und Methodologie der Modellbildung sind nicht unabhängig voneinander. Eine bestimmte Theorie bedarf weniger Daten als eine andere. Ein Mangel an Daten schließt die Nutzung einer bestimmten Methodologie der Modellbildung aus und gibt einer weniger Datenabhängigen den Vorrang. Eine bestimmte Methodologie steht in engem Zusammenhang mit einer Theorie, eine andere erschwert gerade deren Darstellung. Der Formalismus einer theoretischen Modellbildung bedingt die Anwendung mathematischer Methoden, die wiederum meist den Einsatz der Rechentechnik erfordern. Das mathematische Modell gewinnt aber erst dann heuristischen Wert, wenn es auf experimentellen Daten fußt und deren Überprüfung, Integration und theoretischen Fundierung dient.

Zwischen formaler bzw. mathematischer Modellierung und experimenteller Forschung gibt es daher, entgegen der oftmals geäußerten Meinung, keinen Konflikt, denn ein formales Modell kann ohne ein solches Fundament an konkreten Daten nicht gebildet werden.

Die Daten aus Beobachtung und Experiment stellen das erforderliche Kettenglied zwischen formalem Modell und dem Erkenntnisobjekt her. Die Ergebnisse der Mo-

15 Software Development and Reality Construction. Ed. by Christiane Floyd, Heinz Züllighoven, Reinhard Budde, and Reinhard Keil-Slawik. Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verlag 1992.

dellierung müssen mit Beobachtungen bzw. experimentellen Daten über vergangenes Verhalten der konkreten Systeme verglichen werden. Beide Methoden können nicht getrennt voneinander gesehen werden, sondern stellen ein miteinander verflochtenes Methodensystem dar. Einerseits lässt sich das Zusammenspiel zum Beispiel der zellulären Regulationsprozesse durch experimentelle Arbeit allein nicht aufklären, denn das induktive Vermögen einer kleinen Forschergruppe wird allein schon durch die Anzahl und die Komplexität der Ergebnisse überfordert. Andererseits neigen mathematische Modelle zellphysiologischer molekularbiologischer Objekte zur formalen Abstraktion, solange sie nicht mit experimentellen Daten vermittelt sind. Erst in der Vermittlung sind leere Begrifflichkeit des abstrakten Modells und blinde Anschaulichkeit der rohen experimentellen Daten aufgehoben. Allein diese Verschränkung rechtfertigt den Dualismus von Experimentieren und Modellieren.<sup>16</sup>

Dieser Dualismus bzw. die Verschränktheit besteht auch in den Phasen. Dem Entwurf des Experiments entspricht die Formulierung des Modells, der Durchführung des Experiments die Simulation des Modellverhaltens, der Verdichtung der Rohen Daten die Zusammenfassung der Simulationsergebnisse. Diese Teilschritte erhalten ihren Sinn. Dies geschieht durch die Parametrisierung des Modells mit Hilfe der gemessenen Daten. Das Modell wird damit konkret, die Daten erhalten theoretisches Niveau. Also ist die Parametrisierung das Kernstück der theoretischen und praktischen Arbeit, Ausdruck der Einheit von Empirischen und Theoretischem in der wissenschaftlichen Erkenntnis.<sup>17</sup>

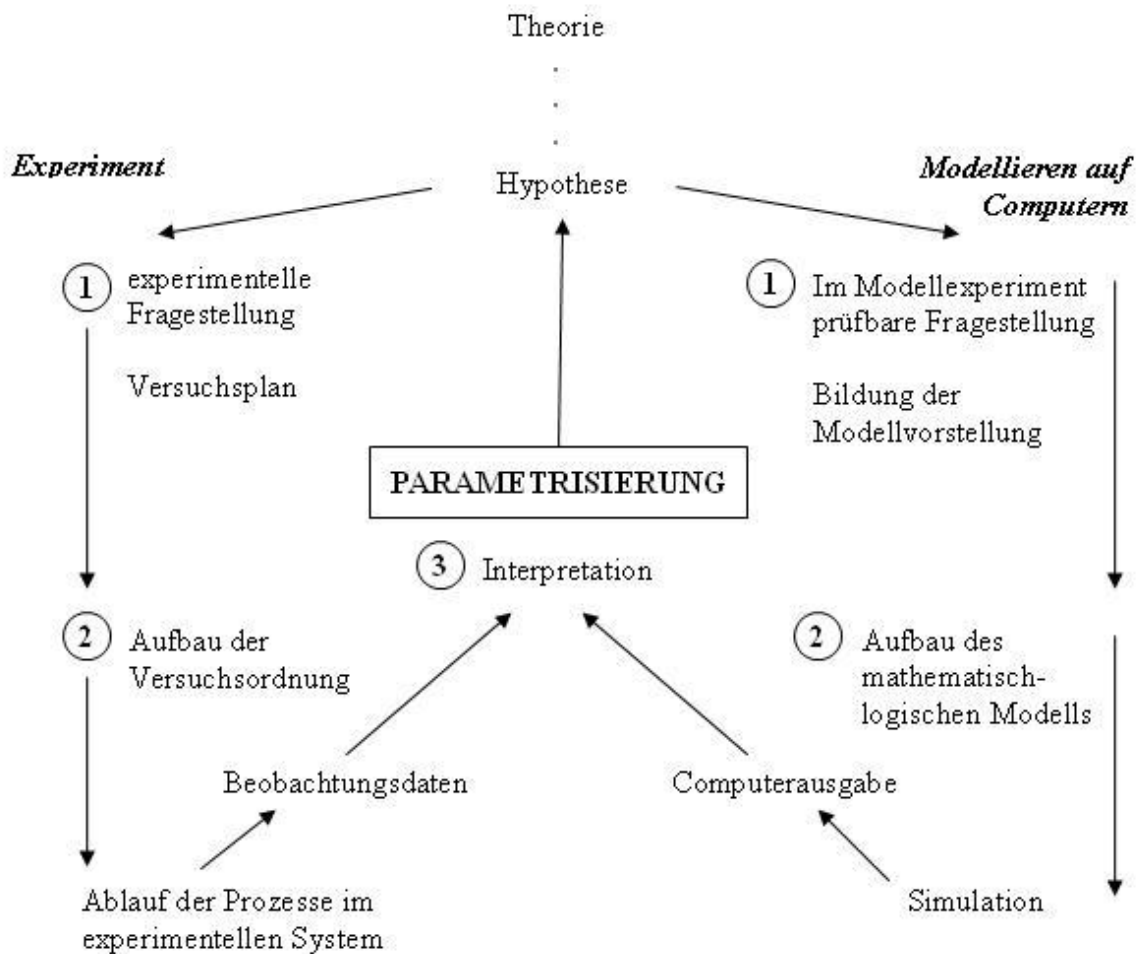
### 3. Modelle in der biowissenschaftlichen Forschung

Der Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien in den Biowissenschaften vollzieht sich insbesondere in drei Grundrichtungen. Einmal geht es um die Rationalisierung und Intensivierung des wissenschaftlichen Arbeitsprozesses durch den Einsatz moderner Informationstechnik bei instrumentell-analytischen Mess- und Analysemethoden zum anderen geht es um ihren Einsatz bei der theoretischen Durchdringung lebender Systeme mit Hilfe formaler (mathematischer) Modelle. Es geht darüber hinaus um eine verbesserte Gewinnung, Verteilung und Nutzung wissenschaftlicher Ergebnisse.

Speziell mathematische Modelle dienen der biowissenschaftlichen Forschung in wachsendem Masse dazu, die hochkomplexen lebenden Systeme und Prozesse theoretisch zu erfassen und praktisch zu beherrschen bzw. zu steuern. Dies gilt insbesondere für das Verständnis des Stoffwechsels, als ein Grundmerkmal lebender Systeme. Es ist ein organisiertes und sich organisierendes und damit dynamisches, gesteuertes

16 Fuchs-Kittowski, K. / Reich, J., Zur Darstellung von Regulationsprozessen des Zellstoffwechsels auf elektronischen Rechenautomaten. – In: Rechentechnik. Datenverarbeitung: Die elektronische Datenverarbeitung im Hochschulwesen, Vorträge der wissenschaftlichen Konferenz der DDR (Berlin). 7(1970) Beiheft 1/2, S. 53 – 58.

17 ebenda

Abbildung 6: *Das Modell als Bindeglied zwischen Experiment und Theorie*

und autoregulatives Geschehen. Zu seiner Untersuchung ist ein umfangreiches System analytisch-synthetischer Methoden dringend erforderlich, als dessen Kern die Modellmethode<sup>18</sup> angesehen werden kann.

Im Modell werden experimentelle Daten und theoretische Vorstellungen vereint, wodurch es zum Bindeglied zwischen Experiment und Theorie wird. Es geht letztlich um die Gewinnung einer theoretischen Konzeption, die es gestattet, auf der Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse über die isolierten Teile, Aussagen über komplexe und hochkomplexe Phänomene und ihre Grundlagen (Systemgesetze) zu machen. Eine solche Konzeption bzw. methodologische Herangehensweise muss ermöglichen, noch über kybernetisch Modellansätze hinausgehend, aus einer über Analyse und Synthese gewonnen ganzheitlichen Sicht, zu einer Theorie der Biologie beizutragen, die auch dem Phänomen der Informationserzeugung, der schöpferischen Selektion entsprechend Rechnung tragen kann.<sup>19</sup>

Grundlegende Begriffe, wie System und Modell, die allgemeinen kybernetischen Denkmodelle wie die des Regelkreises, des Signalübertragungskanal sowie des pro-

18 Hess, B., Chance. – In: Naturwissenschaften. 46(1995), S. 395.

grammgesteuerten Rechenautomaten, haben schon lange in der biowissenschaftlichen Forschung Eingang gefunden.

Dies führte zur Herausbildung der Biokybernetik und wie Francois Jakob verdeutlichte, war es gerade das Denkmodell des Automaten, das den Anfängen der Molekularbiologie – der Revolution in der modernen Biologie – zugrunde lag.

Francois Jakob schreibt: „Die moderne Biologie will die Eigenschaften des Organismus aus der Struktur der ihn aufbauenden Moleküle erklären. In diesem Sinne entspricht sie einem neuen Zeitalter des Mechanizismus. Das Programm ist ein den elektronischen Rechenmaschinen entlehntes Modell. In der Wirklichkeit unterscheiden sich beide Arten von Programmen in vielerlei Hinsicht.“<sup>20</sup>

Diese Entwicklung führte zur Annäherung zuvor offensichtlich getrennter Wissenschaftsdisziplinen in den Biowissenschaften, die unter anderen zunehmend von Mathematik, Kybernetik und durch die Informationstechnik beeinflusst werden. Diese Entwicklung ist Ausdruck des generellen Trends zur Integration und Differenzierung in der Wissenschaftsentwicklung in der dem Modellbegriff und der Modellmethode eine wachsende Bedeutung zukommt, denn das Modell bzw. das Modellsystem ist als das erkenntnistheoretische Korrelat komplexer Systeme anzusehen, deren wissenschaftliche Untersuchung gerade gegenwärtig im Brennpunkt der wissenschaftlichen Forschung steht.

Noch grundlegender als das Systemkonzept ist für das Verständnis lebender Systeme das Konzept der Materie, der Energie und insbesondere der Information, letzteres differenziert entsprechend unterschiedlichen Ebenen der Organisation lebender Systeme. Lebende Systeme bestehen aus durch Information organisierten Stoff und Energie.<sup>21</sup>

Information und Organisation sind also sich wechselseitig bedingende Begriffe. Organisation ist das Wirksamwerden der Information und Information wird nur in Organisationen erzeugt und genutzt. Diese Prozesse der Informationserzeugung, -erhaltung und -nutzung sind zentral für eine Theorie der Biologie.<sup>22</sup>

In diesem Sinne wurde von uns definiert:

Die Qualität des Lebens liegt in der spezifischen Ordnung und Organisation des physikalisch-chemischen Geschehens durch Steuerung (DNS-RNS-Protein) und enzymatischer Regulation des Stoff- und Energiewechsels, in der Verbundenheit von Steuerung und Regulation mit der molekularen Struktur der Zelle und der Erhal-

19 Fuchs-Kittowski, K., Kybernetik, Informatik und Philosophie – Zum philosophischen Denken von Georg Klaus : Im Spannungsfeld zwischen formalem Modell und nicht formaler Wirklichkeit. – In : Kybernetik und Interdisziplinarität in den Wissenschaften – Georg Klaus zum 90. Geburtstag. Hrsg. v. Klaus Fuchs-Kittowski u. Siegfried Piotrowski. Berlin: trafo verlag 2003.

20 Jacob, F., Die Logik des Lebenden. Von der Urzeugung zum genetischen Code. Frankfurt am Main: S. Fischer Verlag 1972.

21 Elsasser, W. M., Elements of Theoretical Biology, printed as Manuscrip. John Hopkins University 1986.



tung der Struktur durch Steuerung und Regulation, in der durch diese besondere Verbindung von Struktur und Funktion gegebenen Möglichkeit der Entstehung von Information in Phylo- und Ontogenese.“<sup>23</sup> Charakteristische Merkmale sind also:

1. Ordnung und Organisation des physikalisch-chemischen Geschehens durch Steuerung und Regelung, d.h. durch Information organisiert.
2. Verbundenheit der Steuerung und Regulation mit der molekularen Struktur der Zelle.
3. Erhaltung dieser Struktur durch Steuerung und Regulation.
4. Prozesse der Entstehung und Bereicherung der Information bzw. der kontextabhängigen Interpretation ihrer Syntaxstrukturen. (Prozesse der Abbildung, Bedeutung und Bewertung auf verschiedenen Ebenen der Organisation lebender Systeme).

Die Untersuchung dieser Momente des Lebensgeschehens wird uns ein gutes Stück weiter auf dem Weg der Aufklärung des Wesens lebender Systeme führen.

Die Aufgabe des Experimentators, gezielt in die hochkomplexe Organisation lebender Systeme einzugreifen, um bestimmte Verhaltensweisen zu erreichen, bedingt zunächst die Analyse biologischer Objekte in den Vordergrund der biologischen Forschung zu stellen. Hierbei sind viele Phänomene einer direkten Messung nicht zugänglich oder sie verbieten sich aus ethischen Gründen. Auch sind allein streng determinierte Experimente an lebenden Objekten als biologischem Modell nicht möglich, da bei der Untersuchung nur ein Teil aller inneren und äußeren Einwirkungen verringert und kontrolliert werden können. Hieraus resultiert die große Schwankungsbreite bei Versuchsergebnissen

Ein komplizierendes Moment ist jedoch besonders auch die biologische Variabilität bzw. die enorme Heterogenität als Eigentümlichkeit lebender Organismen. Diese individuelle Variabilität im Unterschied zur weitgehenden Homogenität auf der Ebene der physikalisch-chemischen Prozesse, ist von großem Einfluss bei der Untersuchung medizinischer Sachverhalte. Die starke Individualität bzw. biologische Streuung in einem Kollektiv (die Heterogenität der Klasse) zwingt zur statistischen Behandlung zum Beispiel von Dosis-Wirkungsbeziehungen in der Pharmakologie und zwar in Bezug auf die Wirkungsintensität und Wirkungshäufigkeit.

Wie jedoch die Erfahrung zeigt, darf die Individualität auch nicht mystifiziert werden, so dass zum Beispiel der Arzt einem Patienten nur eine Arznei in höchst in-

- 22 Fuchs-Kittowski, K., Systems and Form, Content and Effects of Information. – In: System Design for Human Development and Productivity: Participation and beyond. Hrsg. v. Klaus Fuchs-Kittowski u. D. Gertenbach. Berlin: Akademie der Wissenschaften der DDR 1987; Fuchs-Kittowski, K. / Rosenthal, H. A., Selbstorganisation, Information und Evolution – Zur Kreativität der belebten Natur. – In: Information und Selbstorganisation – Annäherung an eine vereinheitlichte Theorie der Information. Hrsg. v. N. Fenzl, Wolfgang Hofkirchner u. G. Stockinger. Innsbruck-Wien: Studien Verlag 1998.
- 23 Fuchs-Kittowski, K., Probleme des Determinismus und der Kybernetik in der molekularen Biologie. A. a. O., S. 61.

dividueller Dosierung geben dürfte (wie von der Homöopathie in Verabsolutierung der Individualisierung gefordert wird). Biochemie und Genetik haben zu einem vertieften Verständnis der dialektischen Einheit von Beziehungen zwischen Individuum und Gruppe geführt. Jeder lebende Organismus, jeder Mensch stellt eine spezifische Kombination von Faktoren dar, die seine Individualität ausmachen. Zugleich gehört er in jeder einzelnen Eigenschaft einer Gruppe an. Dies ergibt sich aus seiner genetischen Formel und aus der Gleichheit seines Stoffwechsels.<sup>24</sup> Mit der Entschlüsselung des Humangenoms wird es möglich, künftig Medikamente herzustellen, die der Individualität des Menschen in stärkerem Masse Rechnung tragen. Damit wird die Massenproduktion von Medikamenten eingeschränkt werden.<sup>25</sup>

Zu Beginn des 3. Jahrtausend stehen die Biowissenschaften in einer wichtigen Etappe ihrer Entwicklung. Es wächst immer mehr die Einsicht, dass ein tieferes Verständnis der Lebensprozesse nur gewonnen werden kann, wenn man die Organisation lebender Systeme und die damit verbundenen Informationsprozesse besser kennen lernt.

Daraus leitet sich verstärkt das Bedürfnis nach theoretischer Verallgemeinerung und formaler Modellierung sowie darauf aufbauend ein verstärktes Bemühen um ein ganzheitliches Verständnis der lebendigen Organisation ab.

Als Ursache für eine bisher noch ungenügende Verbreitung der Methode der formalen Modellierung in der Biologie und in den bio-medizinischen Wissenschaften nannte A. A. Ljapunow schon vor einigen Jahren „die fehlerhafte philosophische Position“, die darauf hinausläuft, dass sich gerade die Lebewesen in Folge ihrer Spezifik mit exakten Modellen nicht erforschen ließen. Eine solche Position hat deutlich vitalistischen Charakter, auch wenn sie nicht selten auch als Position des dialektischen Materialismus ausgegeben wird.<sup>26</sup>

Die häufig geäußerte Meinung, die hohe Komplexität biologischer Systeme mache sie für eine formale bzw. mathematische Beschreibung unzugänglich ist unrichtig. Man wird gerade zum entgegengesetzten Schluss gezwungen, dass die komplexen lebenden Systeme ohne die Mittel der formalen Modellierung, der mathematisch-logischen und anderen sprachlichen Beschreibungen, gar nicht gründlich genug untersucht werden können. Darauf machte unter anderem auch schon Georg Klaus aufmerksam.<sup>27</sup>

24 Rapoport, S. M., Biologische Komponenten menschlicher Bedürfnisse und die zukünftige Entwicklung der Biologie. – In: Molekularbiologie, Medizin, Philosophie, Wissenschaftsentwicklung – Essays. Hrsg. v. Samuel Mitja Rapoport, Sinaida Rosenthal, Hans A. Rosenthal u. Klaus Fuchs-Kittowski. Berlin: Akademie Verlag 1978. S. 116 – 132.

25 Fuchs-Kittowski, K. / Rosenthal, H. A. / Rosenthal, A., a. a. O., S. 149 – 162.

26 Ljapunow, A. A., Zur mathematischen Behandlung von Lebenserscheinungen. – In: Mathematische Modellierung von Lebensprozessen. Hrsg. v. H. Mathies u. F. Pliquell. Berlin: Akademie Verlag 1972.

27 Klaus, G., Kybernetik in philosophischer Sicht (3. überarbeitete Auflage). Berlin: Dietz Verlag 1997.

Das bedeutet natürlich nicht, dass die Untersuchung der hochkomplexen Lebensvorgänge durch einfache Anwendung eines fertigen mathematischen Apparates vor sich gehen könnte. Zur Erfassung des Wesens biologischer Erscheinungen kommt es zur Herausbildung einer neuen, dem Untersuchungsgegenstand adäquater mathematischer Sprache, und das formale Modell muss im Rahmen der Theorie des Objektbereiches eine entsprechende Interpretation finden. Mit dieser Formalisierung des Wissens, dem Eindringen exakter Methoden in die Biologie, wie auch in die Psychologie und Soziologie, vermittelt der Methode der formalen speziell der symbolischen Modellierung, durch verbale, mathematische und Computermodelle, tritt eine spezielle Dialektik des Erkenntnisprozesses hervor: die Einheit und der Widerspruch von expliziten menschlichen, formalen und intuitiven, nicht formalisierbaren Methoden des Erkenntnisprozesses.<sup>28</sup>

Infolge der zunehmend komplizierten mathematischen Apparate bei der Modellierung biologischer Systeme und Prozesse, bei der medizinischen Diagnostik u.a. (vgl. zum Beispiel Rudolf Seising<sup>29</sup>) erhöhen sich die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der modernen Informations- und Kommunikationstechnologien, an die dezentrale Rechentechnik wie natürlich auch an die Großrechner, an die lokale und globale Vernetzung. Es erhöhen sich aber auch die Anforderungen an eine Theorie der Biologie.

Gerade im Zusammenhang mit den symbolischen Modellen, dem Typ der computerunterstützten Modellierung, die auf der Grundlage moderner dezentraler und vernetzter Informationstechnologien auf die Arbeit im Dialog ausgerichtet ist, verändert sich wesentlich das Verhältnis von Formalisiertem und Nichtformalisiertem. Wichtig ist und bleibt die Vervollkommnung der mathematischen Form des Modells, doch sollte man nicht auf eine absolute, vollständige Formalisierung der komplexen Prozesse orientieren, denn es bleibt immer ein Spannungsfeld zwischen formalem Modelle und dem realen Lebensprozess. Mathematische Modelle sind unentbehrliche Erkenntnis- Steuer- und Gestaltungsmittel in vielen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens, in wachsendem Masse auch in der ärztlichen Praxis.

- 28 Dreyfus, H. / Dreyfus, St., Künstliche Intelligenz – Von den Grenzen der Denkmaschine und dem Wert der Intuition. Hamburg: Rowohlt Verlag 1987; Fuchs-Kittowski, K., System Design, Design of Work and of Organization – the Paradoxon of Safety and the Necessity for a new Culture in Information System Design and in Software Development as well as for succeeding the Orgware Concept. – In: Proceedings of the International IFIP-HUB-Conference on Information System, Work and Organization Design. Hrsg. v. Christian Hartmann, Ernst Mühlberg u. Klaus Fuchs-Kittowski. Berlin. Humboldt Universität 1989; Information System, Work and Organization Design. Ed. by P. van den Besselaar, A. Clement and P. Järvinen. Amsterdam: North Holland 1989.
- 29 Seising, R., Die Fuzzifizierung der Systeme – Die Entstehung der Fuzzy Set Theorie und ihre ersten Anwendungen – Ihre Entwicklung bis in die 70er Jahre des 20. Jahrhunderts. Stuttgart: Franz Steiner Verlag 2005.

#### 4. *Modellierung sozialer Systeme und Prozesse im Gesundheitswesen*

Systemforschung und Modellierung kann mit ihren Mitteln und Methoden in spezifischer Weise die Umsetzung naturwissenschaftlicher, human- und gesellschaftswissenschaftlicher Erkenntnisse in Strategien, die den Zielen einer am konkreten Humanismus orientierten Gesellschaftsgestaltung entsprechen, fördern. Die Modellmethode zur Unterstützung der Entscheidungsvorbereitung gewinnt mit der weiteren Entfaltung der sozialen Prozesse zum Wohle der Menschen auch im Gesundheitsschutz der Bevölkerung objektiv an Bedeutung.<sup>30</sup>

Der Übergang zur intensiv erweiterten Reproduktion, die damit verbundene Orientierung auf die Erschließung innerer Quellen des Wachstums der Leistungsfähigkeit der gesellschaftlichen Bereiche, stellte an die Organisation des Gesundheitswesens der Bevölkerung in der DDR höhere Anforderungen. Dem wurde, auch der internationalen Entwicklung folgend, unter anderen durch die Entwicklung eines Gesundheitsinformationssystems Rechnung getragen.<sup>31</sup>

International entwickelte sich die Gesundheitssystemforschung (vgl. IIASA-Konferenzen on Systems Aspects of Health Planning<sup>32</sup> and on Systems Modeling in Health Care<sup>33</sup> und die International Conferences on System Science in Health Care des Instituts für Medizinische Informatik und Systemforschung<sup>34</sup>). Hierbei geht es um die Anerkennung einer Forschung, bei der das Gesundheitswesen selbst Objekt der Forschung und nicht nur Anwendungspraxis aller anderen Forschungsbemühungen darstellt.<sup>35</sup> Dies verlangt nach Methoden zur vertieften Erforschung und verstärkter prognostischer Aussagekraft. Von der Anwendung der Modellmethode kann hier eine entsprechende Unterstützung erwartet werden bei:

- der inhaltlichen Präzisierung der Grundrichtung der Gesundheitspolitik des jeweiligen Landes,

30 Hager, Th., Systemanalytische Methoden und Instrumentarien zur Bewältigung komplexer Entscheidungssituationen in der Wissenschaftsorganisation und bei der Organisation des Gesundheitswesens. Dissertation, Berlin: Humboldt-Universität 1986.

31 Ewert, G., Entwicklungsschritte zu einem nationalen Gesundheitsinformationssystem. Interessengemeinschaft Medizin und Gesellschaft. Berlin 1997.

32 System Aspects of Health Planning, Proceedings of the IIASA Conference, Austria, August 20-22, 1974. Ed. by Norman Bailey and Mark Thompson. Amsterdam-Oxford-New York: North-Holland Publishing Company 1975.

33 Health System Modeling and Information System For The Coordination of Research in Oncology, Proceedings of the IIASA Biomedical Conference, December 8-12, 1975, Ed by D. D. Venedictov. Laxenburg, Austria 1977; System Modeling in Health Care – Proceedings of an IIASA Conference November 22-24. 1977. Ed. by E. N. Schigan. Luxenburg, Austria 1978.

34 Health System Research, Third International Conference on System Science in Health Care, Ed. By Wilhelm van Eimeren, Rolf Engebrecht and Charles D. Flagle. Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo: Springer-Verlag 1984.

35 Ewert G., Institut für Sozialhygiene und Organisation des Gesundheitswesen « Maxim Zetkin » (ISOG), Medizin und Gesellschaft. Heft 32, Berlin, 2001

- der Klärung der Art und Weise sowie Rangfolge der Befriedigung der Bedürfnisse der Bürger nach medizinischer Betreuung und
- der Begründung möglicher Organisationsformen im Gesundheitswesen, die einen hohen Wirkungsgrad der lebendigen und vergegenständlichten Arbeit sichern helfen.

Eine Systemforschung im Gesundheitsschutz hat sich im Rahmen Sozialhygiene und ihren Teildisziplinen speziell auf die Entwicklung und Anwendung von geeigneten Methoden zu orientieren, speziell auf Modellmethoden, da sie, wie gezeigt, die Integration des Wissens der verschiedenen Teildisziplinen begünstigen. Denn wie schon herausgearbeitet wurde, ist es die primäre methodische Funktion des Modells, eine solche Integration von Erkenntnissen verschiedener Teildisziplinen zu ermöglichen.<sup>36</sup>

Zu den wesentlichen qualitativen Faktoren der Entwicklung gehört die Qualifizierung von Leitungs- und Organisationsentscheidungen. Das Auffinden derjenigen Organisationslösungen, die es gestatten, die gesellschaftlichen Zielstellungen mit hoher Effektivität zu realisieren, kann unter den Bedingungen wachsender Komplexität und Dynamik der gesellschaftlichen Prozesse nicht nur aus historischen Erfahrungen oder Meinungen einzelner Leiter abgeleitet werden. Auch sind Einzelmethoden für die Entscheidungsvorbereitung nicht ausreichend, vielmehr bedarf es des kombinierten Einsatzes.<sup>37</sup>

Es ist wohl die wichtigste Aufgabe unserer wissenschaftlichen Naturerkenntnis, dass sie uns in die Lage versetzt, zukünftige Ereignisse vorzusehen und nach dieser Voraussicht unser weiteres Handeln richten zu können. Modelle physikalischer, chemischer und auch biologischer Natur aber vor allem auch Modelle mathematischer Struktur ermöglichen uns in kurzer Zeit, die Folgen abzuschätzen, die in der äußeren Wirklichkeit erst nach längerer Zeit oder im Ergebnis unseres eigenen Eingreifens auftreten werden. Auf der Grundlage der Modellnutzung vermögen wir dagegen den Ereignissen vorzuzueilen und können nach der gewonnenen Einsicht unsere Entscheidungen treffen. Eine solche Einsicht ist für die klinische Praxis zum Beispiel von Hans Rödning in seinem Buch „Prognose chirurgischer Erkrankungen und Beschädigungen“<sup>38</sup> demonstriert worden. Formal betrachtet werden vier Grundtypen von Prognosemodellen in ihrer Anwendung diskutiert:

36 Fuchs-Kittowski, K. / Hager, Th. / Dahme, Ch., Zum Gegenstand der Medizin aus wissenschaftstheoretischer Sicht. – In: Gesellschaftliche Anforderungen und disziplinäres Objektverständnis, DDR Medizin Report (Berlin). 6(1983).

37 Dahme, Ch. / Hager, Th., International and Operational Aspects of the Decision Behavior and their Modeling. Some Theoretical and Methodological Aspects Concerning the Building up of Computer Aided Working Places for the Analysis and Mastering of Decision Situations. – In: System Design for Human Development and Productivity – Participation and beyond. Ed. by P. Docherty, Klaus Fuchs-Kittowski, P. Kolm and L. Mathiassen. Amsterdam: North Holland 1987.

38 Rödning, H., Prognosen chirurgischer Erkrankungen und Schädigungen. Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1985.

alternative	Modell 1	alternative
Einwirkung	Modell 2	Auswirkungen
qualifizierbare	Modell 3	quantifizierbare
Einwirkungen	Modell 4	Auswirkungen

Damit geht diese Monographie einerseits über eine bloße Darstellung möglicher Behandlungs- bzw. Phathogeneseephänomene durch Angabe der Ausgangs- (L1) und Endzustände (L2) weit hinaus. Es können damit beispielsweise Konfidenzintervalle der Prognosewahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Umfang des Beobachtungsgutes angegeben werden, die aus der begründeten Anwendung der Wahrscheinlichkeitsmodelle abgeleitet sind.

Zum anderen reduziert diese Darstellung das gesammelte Wissen auf die systematische Entwicklung der Ursache-Folge-Zusammenhänge in der Form wahrnehmungstheoretisch begründeter, phänomenologischer Input-Output-Modelle. Eine derart systematisierte Darstellung der Zusammenhänge ist für verschiedene Zwecke von den Fachleuten des betreffenden Wissenschaftsbereichs und darüber hinaus nutzbar. So kann diese Darstellung zum Beispiel für eine präzise Beschreibung von (chirurgischen) Leistungen genutzt und in einer wissenschaftlich fundierten Planung des Gesundheitswesens angewendet werden. Speziell für die Chirurgie ermöglicht erst eine solche Darstellung die Modellierung genauerer und allgemeingültiger Aufwands-Ergebnis-Zusammenhänge und davon ausgehend fundierte Invest- und Entwicklungsplanungen. So bereiten derartige Modelldarstellungen den Boden für einen interdisziplinären Systemforschungs- und Gestaltungsansatz. Ein interdisziplinärer Systemforschungsansatz war ebenfalls die Grundlage für die Durchführung komplexer Wissenschaftsprognosen.<sup>39</sup>

## 5. *Softwareentwicklung und informatische Modellierung*

Die Softwareentwicklung kann von verschiedenen Sichtweisen aus betrachtet werden. Das mit der Modellmethode verbundene neue Selbstverständnis der Wissenschaft hat auch besonderes Gewicht für die weitere Entwicklung der theoretischen und methodologischen Grundlagen der Softwareentwicklung. Es wird deutlich, dass Software ein doppel (wenn nicht sogar dreifach) Charakter besitzt. Sie kann als Modell eines Gegenstandes und als informationelles Arbeitsmittel, als vergegenständlichte Methode, verstanden werden. Sie ist im wachsenden Maße auch Medium und damit ein Mittel zur Kommunikation.

39 Fuchs-Kittowski, K. / Rosenthal, S. / Schlutow, G., Methods to Select Problems in Medicine. Bailey – In: System Aspects of Health Planning, Proceedings of the IIASA Conference, Austria, August 20-22, 1974. Ed by T. J. Norman and Mark Thompson. Amsterdam-Oxford-New York: North-Holland Publishing Company 1975.

Als Modell eines Objektbereiches der in Software zu transformieren ist, hat die Softwareentwicklung ebenfalls Beobachtung und Experiment sowie Hypothesen- und Theorienbildung zur Grundlage, um den Gegenstandsbereich zu erschließen.

Als informationelles Arbeitsmittel gesehen, wird mit der Software eine Tätigkeit vergegenständlicht, wozu es unter anderen Erkenntnisse aus den Arbeits- und Organisationswissenschaften, insbesondere aus der Tätigkeitstheorie der Allgemeinen- und Arbeitspsychologie bedarf.

Als Mittel zur Unterstützung einer kommunikativen Tätigkeit gesehen, bedarf es der Kommunikationstheorie, den Sprachwissenschaften, der Semiotik und der Theorie kommunikativer Tätigkeiten.

Die Modellwelt des Software Engineering muss mit der Welt der Technik und mit der Welt der Anwender übereinstimmen. Dazu bedarf es entsprechender Kommunikations- und Lernprozesse die die Schaffung einer gemeinsamen Sprache zur Voraussetzung hat.

Zumindest diese drei verschiedene Dimensionen der Softwareentwicklung: Gegenstandsbezug, Tätigkeitsbezug und Kommunikationsbezug, gilt es zu berücksichtigen.<sup>40</sup>

Auf dem Gebiet des Software Engineering und der damit verbundenen Modellierung hat sich ein entscheidender Paradigmenwechsel vollzogen. Dieser wurde als Wechsel von der Produktorientierung auf eine Prozessorientierung bei der Softwareentwicklung charakterisiert.<sup>41</sup> Dies kann auch als ein Wechsel von einer allein auf die formale Struktur orientierte Sichtweise, zu einer gleichzeitigen Sicht auf die Arbeitsprozesse verstanden werden.<sup>42</sup>

Aus der Beachtung des Doppelcharakters der Software ergibt sich eine grundsätzliche Komplementarität der Sichtweisen in der Informatik.<sup>43</sup>

Zu beachten ist die Komplementarität von formaler (syntaktischer), technischer, produktorientierter Sichtweise und informaler, inhaltlicher (semantischer), sozialer, prozeßorientierter Sichtweise in der Informatik. So muss zum Beispiel Software for-

40 Dahme, Ch., Wissenschaftstheoretische Positionen in bezug auf die Gestaltung von Software. – In: Organisationsinformatik und digitale Bibliothek in der Wissenschaft: Wissenschaftsforschung Jahrbuch 2000. Hrsg. v. Klaus Fuchs-Kittowski, Heinrich Parthey, Walter Umstätter u. Roland Wagner-Döbler. Berlin: Gesellschaft für Wissenschaftsforschung 2002. S. 167 – 177.

41 Floyd, Ch., Outline of a paradigm change in software engineering. – In: Bjerkne et al., 1997, S. 191 – 210.

42 Fuchs-Kittowski, K., System design, design of work and of organization. The paradox of safety, the orgware concept, the necessity for a new culture of systems and software development. – In: Information System, Work and Organization Design. Ed. by Peter van den Besseelaar, Andrew Clement and Pertti Järvinen. Amsterdam-New York-Oxford-Tokyo: North-Holland 1991, S. 83 – 97.

43 Fuchs-Kittowski, K., Theorie der Informatik im Spannungsfeld zwischen formalem Modell und nichtformaler Welt. – In: Sichtweisen der Informatik. Hrsg. v. Wolfgang Coy u. a. Braunschweig: Vieweg Verlag 1992. S. 71 – 82.

mal korrekt und zugleich als Werkzeug im Arbeitsprozess diesem angemessen sein.<sup>44</sup> Die Komplementarität von Sozialem und Technischen in der Informatik muß sich auch auf das Verständnis der Modellmethode im Methodengefüge der Softwareentwicklung auswirken.

Die Herausbildung theoretischer Grundlagen der Softwareentwicklung hat sich ursprünglich nicht oder nur in geringem Maße aus den Erfahrungen der Softwareherstellung und ihrer Anwendung ergeben, sondern die theoretische Fundierung wurde lange Zeit einfach mit der Entwicklung mathematischer Beweisverfahren und Spezifikationstechniken gleichgesetzt. Damit wurde jedoch nur ungenügend das Wesen der Software, ihre Herstellung und ihr Einsatz reflektiert. Die sehr rasche Entwicklung der Hardware, die Erschließung immer neuer Einsatzgebiete für die modernen Informations- und Kommunikationstechnologien haben dazu geführt, dass es bisher auch nur ungenügend empirische Untersuchungen gibt, auf deren Grundlage Hypothesen zur Softwareentwicklung überprüft werden können.<sup>45</sup>

Aus der Sicht der Tätigkeit des Softwareentwicklers können unseres Erachtens die hier dargestellten Überlegungen zum Modell und zur revolutionären Rolle der Modellmethode fruchtbar werden. Zugleich kann ein tieferes Eindringen in das Wesen der Software zu einem besseren Verständnis der Modellmethode beitragen. Denn die hier zu vollziehende Transformation von einem konkreten Objektbereich in die Welt der Symbole (geistiges Modell) hat gegenüber anderen Modellen dieses Typs viele Besonderheiten. Die Softwareentwicklung erweist sich hier als ein interdisziplinärer Prozess, bei dem zu den Informatikdisziplinen die Disziplinen zu integrieren sind, die zur Erschließung des Objektbereiches erforderlich sind. Nur so kann das Gebiet der Softwaretechnik (Software Engineering) den gewachsenen gesellschaftlichen Anforderungen entsprechen und in der theoretischen Orientierung wie auch in der empirischen Fundierung zuvor zwangsläufig sich ergebende Defizite (vgl. Reiner Keil-Slawik<sup>46</sup>) überwinden.

Will die Softwaretechnik die Software und den Prozess der Softwareentwicklung tiefer verstehen, so muss die Softwareentwicklung als ein Prozess der Modell- und Theorienbildung verstanden und die Software als vergegenständlichte Methode und informationelles Arbeitsmittel gesehen werden. Erst dann wird es möglich sein, die zu enge Orientierung des klassischen Software Engineering zu überwinden, welches ursprünglich als Kern der Informatik, losgelöst von den Erfahrungen der Herstel-

44 Floyd, Ch., Grundzüge eines Paradigmenwechsels in der Softwaretechnik, Vortrag auf dem Kolloquium: Information, Organisation und Informationstechnologie, Humboldt-Universität, Dezember, 1983 (unveröffentlicht)

45 Heinrich, L. J., Geschichten der Wirtschaftsinformatik ODER Elemente einer Geschichte der Wirtschaftsinformatik? Vortrag anlässlich der Emeritierung von Lutz J. Heinrich am 30.9.2004, gehalten am 8.7.2004 an der Universität Linz (Emeritierungsvorlesung)

46 Keil-Slawik, R., Aufgabenbezogene Anforderungsermittlung. – In: Einführung in SE B: IFIP-STU.WP. Hrsg. v. Christiane Floyd, Caster u. Reinerhard Keil-Slawik. Technische Universität Berlin 1987.



lung und Anwendung der Software, auf einer abstrakten mathematischen Ebene, entwickelt wurde.

Aus technologischer Sicht ist der zentrale Ansatz zum Verständnis der Software ihr Gebrauchswert. Der allgemeine Gebrauchswert der Software besteht darin, dass sie eine Steuerinformation in bezug auf die Hardware darstellt. Ihr besonderer Gebrauchswert liegt jedoch in der durch die Software vermittelten Konstruktion bzw. (Re-) Organisation des modellierten Realitätsbereiches, als Arbeitsmittel, als Rationalisierungs-, Erkenntnis-, Planungs-, Organisations- und Kommunikationsmittel.

Softwareentwicklung ist somit eine spezifische Konstruktion sozialer Realität mit dem Ziel, durch die Rechnerunterstützung ein neues Niveau körperlicher und geistiger Tätigkeit des Menschen zu erreichen, welches Produktivitäts- und Persönlichkeitsentwicklung ermöglicht.<sup>47</sup>

Software ist hier Ergebnis einer Transformation von Tätigkeiten in Handlungen und diese in Operationen, die nach ihrer Formalisierung als maschinelle Operationen ausgeführt werden können. Software wird damit zum Mittel einer Tätigkeit. Dazu müssen die maschinellen Operationen wieder in die Komplexität der menschlichen Tätigkeit, entsprechend ihrer Ziele und Motive, integriert werden können.

Software ist hier im Zusammenwirken verschiedener Prozesse, als: a) Arbeitsmittel, b) Arbeitsgegenstand und c) als Produkt zu erfassen. Vorherrschend war und ist auch noch weithin die Tendenz, die Software vorrangig als ein eigenständiges Produkt, ohne wirklichen Bezug zum Kontext der Herstellung und des Einsatzes zu sehen. Eine Umorientierung von der Sicht des isolierten Produktaspektes auf die gleichzeitige Sicht des Arbeitsprozessaspektes bringt ein wesentlich anderes, vertieftes Verständnis der Softwaretechnik, durch den stärkeren Bezug Softwareerstellung und die Softwarenutzung, speziell auch der Organisation der Softwarenutzung.<sup>48</sup>

Erst mit einer konsequenten Orientierung auf den Arbeitsprozess als den Hauptaspekt dessen, was bei der Herstellung und Benutzung der Software wirklich geschieht, auf die damit verbundenen Kommunikations- und Lernprozesse, kann eine technizistische Position wirklich überwunden werden und eine echte technologische Bearbeitung geistiger Arbeitsprozesse und ihrer Produkte erfolgen (vgl. Christiane Floyd<sup>49</sup>). Die Herstellung und Anwendung von Softwareprodukten und ihre technologische Beurteilung muss stets von der Wechselwirkung zwischen dem Prozess- und Produktaspekt ausgehen, wobei der Prozessaspekt die primäre Seite darstellt.

47 Fuchs-Kittowski, K. / Wenzlaff, B., Integrative Participation – A Challenge To The Development Of Informatics. – In: System Design for Human Development and Productivity: Participation and Beyond. Ed. by Peter Docherty, Klaus Fuchs-Kittowski, Paul Kolm and Lars Mathiassen. Amsterdam-New York-Oxford-Tokyo: North Holland 1991. S. 3 – 17.

48 Pape, B., Organisation der Softwarenutzung – Theorienbildung und Fallstudien zu Softwareeinführung und Benutzerbetreuung. Berlin: Logos Verlag 2005.

49 Floyd, Ch., Outline of a Paradigm Change in Software Engineering. – In: Computers and Democracy, a Scandinavian challenge. Ed. by Bjercknes, Ehn and Kyng. Aldershot, Brookfield USA 1987

Die damit verbundenen Kommunikations- und Lernprozesse aller Beteiligten – der Anwender, die Softwareentwickler und Betreiber – verlangen die Entwicklung einer gemeinsamen Sprache. Erst durch die Herausbildung einer gemeinsamen Sprache lassen sich die drei unterschiedlichen „Welten“ des Entwicklungsprozesses: die Welt der Anwendung, die Welt der Methoden und Modelle und die Welt der Technik, schrittweise zusammenzuführen. Es ist häufig so, dass Softwareentwickler und die künftigen Anwender eine sehr unterschiedliche Sprache sprechen. Um eine möglichst größere Übereinstimmung zu erreichen können verschiedenen Methoden eingesetzt werden, wie Prototyping, Qualitätszirkel, ethnographische Methoden der kooperativen Arbeit, gemeinsame Arbeit an der Entwicklung von Ontologien.<sup>50</sup> Es ist ein Prozess kooperativer Wissenserzeugung. Es geht um die Schaffung einer gemeinsamen Sprache, der Einbettung der Software und ihrer Nutzung in einen gemeinsamen sozialen Kontext, um die Schaffung eines sozialen Raums in dem die Beteiligten ihre kooperative Arbeit koordinieren können. Dies sind selbst wissensintensive Arbeitsprozesse für die Wissen bereitgestellt wird und in denen Wissen in Prozessen der Selbstorganisation erzeugt wird.

Die Neuorientierung im Software Engineering und Modellierung hat einen entscheidenden Wandel in den erkenntnistheoretisch-methodologischen Grundlagen zur Voraussetzung, der nur durch eine entsprechende Reflexion über Wissenschaft und Technik zu gewinnen war.

Auf der Grundlage eines naiven Realismus wird weithin von einer Isomorphie oder zumindest Homomorphie von Realität und ihrer Rekonstruktion durch Software ausgegangen. Diese Auffassung basiert auf philosophisch-erkenntnistheoretischen Grundsätzen, die von Vertretern des Wiener Kreises, des Logischen Positivismus oder Empirismus schon einige Jahrzehnte vor der Entwicklung der Informatik und Wirtschaftsinformatik und der Disziplin der Informationssystemgestaltung und Softwaretechnik entwickelt wurden.

Doch der sich in vielen Wissenschaften vollziehende Wechsel des Leitgedankens (Paradigmenwechsel), der das Prinzip der Selbstorganisation in den Mittelpunkt rückt, hat ebenfalls starken Einfluss auf die Wissenschaftstheorie der Gegenwart und führt insbesondere zu einer kritischen Haltung zu den wissenschaftstheoretischen Grundsätzen des Positivismus.

Heinz Zemanek machte schon früh darauf aufmerksam, dass, wenn wir Wurzeln der Informatik retrospektiv im „Tractatus logico-philosophicus“ sehen, man dann auch berücksichtigen muss, dass der ältere Wittgenstein kritisch zu dieser Arbeit des jungen Wittgenstein stand. Er schloss aus der Tatsache, dass L. Wittgenstein das

50 Fuchs-Kittowski, K. / Bodrow, W., Wissensmanagement für Wertschöpfung und Wissenschaft – Allgemeine Prozessontologien als theoretisch-methodologische Grundlage. – In: Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie. Hrsg. v. Gerhard Banse u. Ernst-Otto Reger. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Band 75, Jahrgang 2004, S. 81 – 104.

Konzept des „Tractatus logico philosophicus“ später als gescheitert erklärte, dass dann auch die Informatik auf eine breitere philosophische Grundlage zu stellen ist.<sup>51</sup>

Es ist somit auch zu prüfen, inwieweit die wissenschaftstheoretischen und wissenschaftsmethodologischen Positionen, wie sie im Zusammenhang mit dem Leitgedanken der Selbstorganisation entwickelt wurden, einer solchen Erweiterung bzw. Vertiefung der philosophischen, erkenntnistheoretisch-methodologischen Grundlagen der Informatik und insbesondere der Wirtschaftsinformatik dienen kann.

Die Erkenntnissituation des Informatikers und speziell Wirtschaftsinformatikers, der sich mit der Gestaltung von Informationssystemen in sozialer Organisation beschäftigt, ist nicht mit der eines Naturwissenschaftlers vergleichbar, wie unter Bezugnahme auf den empirischen Charakter dieser Wissenschaften oftmals angenommen wird. Im Zusammenhang mit der Diskussion um das Selbstverständnis der Wirtschaftsinformatik hat Peter Mertens<sup>52</sup> sehr deutlich gemacht, daß die Wirtschaftsinformatik in die Leonardo-Welt angesiedelt ist, wo es gilt für die Menschen hilfreiche, reale Konstrukte zu schaffen, die Informatik dagegen der Leibniz-Welt zuzuordnen ist, mit der der Mensch im wesentlichen über seine Deutungen und Symbole verbunden ist. Nun wollen wir hervorheben, dass der Doppel- bzw. Dreifachaspekt der Software verdeutlicht, dass die einfach abbildende Modellierung unzureichend sein muss. Dies gilt es in seinen Konsequenzen für die Informatik, die damit ebenfalls aus der reinen Leibniz-Welt heraustritt und insbesondere für die Wirtschaftsinformatik, deren Aufgaben in der Leonardo-Welt damit nicht leichter sondern noch schwieriger und verantwortungsvoller werden, voll zu erfassen. Dies verlangt nach einer Orientierung auf wissenschafts- und erkenntnistheoretischen Grundlagen für Informatik und Wirtschaftsinformatik, die eine konsequente Überwindung des naiven Realismus ermöglicht. Wie zu zeigen ist, hat die Überwindung des naiven Realismus natürlich auch für die Naturwissenschaft in der „Columbus-Welt“ Konsequenzen.

In den Naturwissenschaften erfolgt die Modell- und Theorienbildung zur Erklärung oder Vorhersage von Phänomenen der Realität. Die Rolle der Formalisierung und Mathematisierung im Falle der Softwareentwicklung hat eine andere Funktion. Die Software soll bestimmten Anforderungen gerecht werden. Zwischen den informellen Anforderungen und formaler Spezifikation besteht eine mathematisch nicht fassbare Beziehung. „Die formale Spezifikation macht sich vom Realitätsbezug unabhängig“ schreibt Peter Schefe<sup>53</sup> und hebt hervor: „Erst die informale Anforderung

51 Zemanek, H., Philosophie und Informationsverarbeitung. – In: NTZ. 26(1973)8, S. 384 – 389; Zemanek, H., Philosophische Wurzeln der Informatik im Wiener Kreis. – In: Informatik und Philosophie. Hrsg. v. Peter Schefe, Heiner Hasstedt, Yvonne Dittrich u. Geert Keil. Mannheim-Leipzig-Wien-Zürich: Wissenschaftsverlag 1993. S. 85 – 117.

52 Mertens, P., Wirtschaftsinformatik – Von den Moden zum Trend. – In: Wirtschaftsinformatik '95 – Wettbewerbsfähigkeit, Innovation, Wirtschaftlichkeit. Hrsg v. Wolfgang König. Heidelberg: Physica-Verlag 1995. S. 25 – 64.

53 Schefe, P., Softwaretechnik und Erkenntnistheorie. – In: Informatik Spektrum. 22(1999)2. S. 122 – 135.

liefert den Realitätsbezug. Diese intensionale Bedeutungszuweisung ist grundlegend verschieden von der einer mathematisch-logischen Interpretation. Wir nennen sie daher Sinnzuweisung“.

Die vom Informatiker/Wirtschaftsinformatiker zu bewerkstellende Anforderungsanalyse ist also nicht mit der Erkenntnissituation eines Naturwissenschaftlers vergleichbar. Er hat bestimmte handlungsorientierte Konzeptualisierungen der Realität zu beschreiben, durch einen Text zu erfassen. Es geht also nicht darum, auf der Grundlage bestimmter Fakten zugrundeliegende Naturgesetze zu erschließen, sondern darum Aufgaben, Bedürfnisse, Intentionen zu verstehen, Sinn zu erfassen.

Die bekannten Schwierigkeiten der Informationssystemgestaltung und Softwareentwicklung, speziell die Schwierigkeiten die mit der Anpassbarkeit von Standardsoftware bzw. generell mit der Wiederverwendbarkeit von Software verbunden sind, haben ihre Grundlage in dieser Erkenntnissituation. Es geht, wie gesagt, nicht um die Erschließung allgemeingültiger Gesetze, sondern um die Schaffung informationstechnologischer Mittel, die an allgemeingültige und individuelle Situationen mit sich verändernden Zielen und Zwecken anpassbar sind.

Damit stellt sich die Frage: Wenn Informationssystemgestaltung und Softwareentwicklung keine Entdeckung von Gesetzmäßigkeiten ist, handelt es sich damit um reine Schöpfung? Oder, wenn Informationssystemgestaltung und Softwareentwicklung Realitätskonstruktion in gemeinschaftlicher Arbeit, auf der Grundlage der ermittelten Anforderungen ist, hat man es dann nicht auch mit Aufdeckung wesentlicher Zusammenhänge zu tun? Es geht um Konstruktion und (Re-) Organisation, aber auf der Grundlage der Erkenntnis wesentlicher bzw. allgemein-notwendiger Zusammenhänge. Wesentliche Zusammenhänge der menschlichen Tätigkeit, der Arbeitsorganisation und betrieblichen Organisation als Ganzem sind zu berücksichtigen und nicht alles zu erfinden, zu erzeugen.

Für einen wagen Anti-Realismus gilt es schon als ausgemacht nur Erzeuger und nicht Entdecker von Wirklichkeit zu sein. Eine genauere und weniger voreilige Besinnung auf das Verhältnis von „Medialität und Realität im Erkennen“, sollte uns dazu führen einen Konstruktivismus zu entwickeln, der einen philosophischen Realismus nicht verwirft und einen Realismus, der nur gemeinsam mit einem philosophischen Konstruktivismus vertreten werden kann, so dass die unseres Erachtens für die Wirtschaftsinformatik weniger fruchtbare theoretische Alternative: naiver Realismus oder solipzistischer Konstruktivismus überwunden werden kann. Wie dies in den jüngeren Arbeiten von John McDowell<sup>54</sup>, Crispin Wright<sup>55</sup>, Hilary Putnam<sup>56</sup>, Robert Brandom<sup>57</sup> vorgezeichnet und von Martin Seel<sup>58</sup> besonders klar herausgear-

54 McDowell, J., *Mind and World*. Cambridge, Mass 1994.

55 Wright, C., *Truth and Objectivity*, Cambridge, Mass. – London C. 1992.

56 Putnam, H., *The Question of Realism*. – In: *Words and Life*. Ed. by J. Conant. Cambridge, Mass. 1994. S. 295 – 312.

57 Brandom, R. B., *Making it Explicit. Reasoning, Representing and Discursive Commitment*, Cambridge, Mass. – London 1995.

beitet wurde. Aus der hier aufgezeigten Sicht ist also weder ein naiver Realismus noch ein Anti-Realismus zu vertreten sondern ein konstruktiver oder struktureller Realismus. Alan F. Chalmers<sup>59</sup> konnte gegenüber einem vagen Anti-Realismus verdeutlichen, dass trotz Schwierigkeiten der Realismus doch wissenschaftlich begründbar ist. Die theoretisch unfruchtbare Alternative: naiver Realismus oder solipzistischer Konstruktivismus ist also überwindbar.

Wenn heute versucht wird sich diesen Fragen immer mehr zu stellen, wird offensichtlich, dass der logische Positivismus als erkenntnistheoretische Grundlage, die der Informatik aus historischen Gründen weithin inhärenten ist, nicht genügen kann, um die Fragen zu beantworten. Um die Probleme der Softwareentwicklung und ihrer Nutzung zu verstehen und zu lösen, bedarf es wesentlich reichhaltigerer Ansätze. Die neue Erkenntnissituation führt auch zu neuen erkenntnistheoretischen Problemen und so auch zu einer Suche nach neuen Antworten. Man sucht auch in schon entwickelten Erkenntnistheorien oder theoretisch-methodologischen Konzeptionen, wie der Hermeneutik, der Theorie kommunikativer Tätigkeiten, dem Tätigkeitskonzept moderner Psychologie und Wissenschaftstheorie, wie es speziell in der Tätigkeitspsychologie entwickelt wurde und auch in der Theorie selbstorganisierender Systeme, wie sie in den modernen Naturwissenschaften von Ilja Prigogine und P. Glansdorff<sup>60</sup>, von Manfred Eigen<sup>61</sup>, von Erich Jantsch<sup>62</sup>, von Humberto Maturana<sup>63</sup>, von Heinz v. Förster<sup>64</sup>, von Werner Ebeling<sup>65</sup>, von Hermann Haken<sup>66</sup> und von anderen entwickelt wurde und schrittweise für die hier aufgeworfenen Fragestellungen verallgemeinert wird.

Auf der Grundlage einer für den sozialen Bereich verallgemeinerten Theorie der Selbstorganisation, in Verbindung mit dem Tätigkeitskonzept, kann ein entsprechendes theoretisch-methodologischen Konzept entwickelt werden, welches den hier angesprochenen Dimensionen der Softwareentwicklung Rechnung tragen kann. Dies ist auch erforderlich. Denn standen bisher vielfach die rein technischen Ge-

58 Seel, M. (1998), Bestimmung und Bestimmenlassen – Anfänge einer medialen Erkenntnistheorie. – In: Deutsche Zeitschrift für Philosophie (Berlin). (1998) 3.

59 Chalmers, A. F., Wege der Wissenschaft – Einführung in die Wissenschaftstheorie. Berlin Springer 2001.

60 Glansdorff, P., Prigogine, I., Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations, London 1971

61 Eigen, M., Self organization of Mater and the Evolution of Biological Macromolecules. – In: Naturwissenschaften. (1971)10.

62 Jantsch, E., Die Selbstorganisation des Universums. München: dtv Wissenschaft 1982.

63 Maturana, H. R., Erkennen: Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit. Braunschweig 1982.

64 Foerster, H. von, On Self-Organizing Systems and Their Environments. – In: Self-Organizing Systems. Ed. by M. C. Yovits and S. Cameron. London: Pergamon Press 1960. S. 31 – 50.

65 Ebeling, W., Strukturbildung bei irreversiblen Prozessen – Eine Einführung in die Theorie dissipativer Strukturen. Leipzig: Teubner Verlagsgesellschaft 1976.

66 Haken, H., Information und Selbstorganisation. Berlin-Heidelberg-New York 1988.

sichtspunkte der Softwareerstellung im Vordergrund, so tritt jetzt, mit dem dezentralen und vernetzten Einsatz der modernen IKT, verstärkt die Einbettung von IKT-Systemen in die menschliche Arbeitstätigkeit hervor. Speziell geht es zum Beispiel um die IKT-Unterstützung wissensintensiver Arbeitsprozesse.<sup>67</sup>

Es kann damit eine erkenntnistheoretisch-methodologische Position entwickelt werden, die uns:

- Besonderheiten der Softwareentwicklung als Wirklichkeitskonstruktion,
- Besonderheiten der Unternehmensorganisation als kreativ –lernende Organisation besser erkennen lässt und
- eine vertiefte Sicht der für die Informatik und Wirtschaftsinformatik auf die zentralen Wechselbeziehungen zwischen Mensch, Aufgabe, Informationstechnologie und Organisation ermöglicht<sup>68</sup>.

Sieht man den Arbeitsprozess als den Hauptaspekt, dann wird deutlich, dass praktisch eingesetzte Software keine der Bedingungen für eine Ware, vom sozialen Kontext ihrer Herstellung unabhängig austauschbarem Gut, entspricht. Diese Feststellung ist besonders wichtig für die komplexen Softwaresysteme der künstlichen Intelligenz, den wissensbasierten Systemen bzw. Expertensystemen. Wissen ist ein soziales Produkt. Seine Wahrheit gilt in der sozialen Gemeinschaft und kann auch nur wahr im Austausch mit der sozialen Gemeinschaft von Wissenschaftlern bleiben in der es geschaffen wurde, für längere Zeit bewahrt und genutzt wird. Wissen ist wahrscheinlich nur im engeren naturwissenschaftlich-technischen Bereich, als ein personenunabhängiges, reproduzierbares und vom sozialen Kontext unabhängig übertragbares Gut anzusehen.

Es ist insbesondere das Scheitern der mit dem Konzept der Vollautomatisierung und des Strukturalismus unterstellten Idee von einer abgeschlossenen Welt, die in relativ selbständige funktionale Bestandteile gegliedert werden kann und es daher ermöglicht vorbedachte Strukturen durch Programme nachzubilden, das die Ablösung der strukturierten Analyse und des strukturierten Entwurfs durch die objektorientierte Sichtweise und evolutionäre Konzepte der Systemgestaltung und Softwareentwicklung, des Paradigmas der Struktur durch das Paradigma der Selbstorganisation und Informationsentstehung, erforderlich macht. Das objektorientierte Paradigma der Informatik hat die Modellierung revolutioniert.<sup>69</sup> Mit dem WAM-Leitbild, dem Werkzeug, Automat, Material-Ansatz<sup>70</sup> wurde auf der Grundlage der objektorientierten

67 Fuchs-Kittowski, F. / Prinz, W., Interaktionsorientiertes Wissensmanagement. Wien-Berlin-Zürich: Peter Lang Verlag 2005.

68 Fuchs-Kittowski, K. / Heinrich, L. J. / Rolf, A., Information entsteht in Organisationen: – In kreativen Unternehmen – wissenschaftstheoretische und methodologische Konsequenzen für die Wirtschaftsinformatik. – In: Wirtschaftsinformatik und Wissenschaftstheorie – Bestandsaufnahme und Perspektiven. Hrsg. v. Jörg Becker, Wolfgang König, Reinhard Schütte, Oliver Wendt u. Stephan Zelewski. Wiesbaden: Gabler Verlag 1999. S. 329 – 361.

69 Horn, E., Software Engineering und Modellierung. Vortrag in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät, 15. Mai 2003.

Sichtweise eine spezielle Methode zur Entwicklung von Software zur Unterstützung qualifizierter Arbeit erarbeitet. Die objektorientierte Sichtweise eignet sich zur Realisierung von Softwareprodukten (objektorientierte Programmiersprachen) wie zugleich zur Beschreibung von Modellen, die im Zuge der Softwareentwicklung erforderlich sind. Ein objektorientiertes System besteht aus Klassen und Instanzen sowie deren Beziehungen zum Beispiel Vererbung, Benutzung, semantische Relationen. Die Bildung von Klassen unterstützt die für die Modellierung erforderliche Abstraktion. Wichtig sind die einfachen semiformalen Ausdrucksmittel mit denen objektorientierte Systeme beschrieben werden können. Generell wollen wir hier Modelle dieser Art von den Erkenntnissystemen in der Wissenschaft unterscheiden, denn ihre Aufgabe ist die Funktionsteilung zwischen Automat und Mensch zu unterstützen.

Die Vorstellung von einer „Softwarefabrik“ im Sinne einer tayloristischen Produktion von Software, wie dies zunächst zur Lösung der „Softwarekrise“ durch die strukturierte Programmierung vertreten wurde ist aufgegeben worden. Die Vorstellung, dass der Problemhorizont als geschlossener Raum erscheint und die Lösung sich in Form einer „gefrorenen Spezifikation“ angeben lässt ist gescheitert, dagegen kann man sich mit dem Konzept der Objektorientierung auf die eigenständige Dynamik des Softwareentwicklungsprozesses orientieren, der es meist nicht mit abgeschlossenen, zuvor spezifizierbaren Problemen zu tun hat. Der mit der Systemgestaltung und Softwareentwicklung einhergehende Erkenntnisprozess muss in flexibel erweiterbaren Artefakten darstellbar und anzureichern sein. In der Tat werden die Erfahrungen aus den Arbeitsprozessen, speziell die Spezifik der qualifizierten Arbeit, der eigenverantwortlichen Expertentätigkeit<sup>71</sup> zunehmend in der Welt der Softwareentwicklung reflektiert. Die Objekte tauschen Nachrichten aus, nehmen Dienste in Anspruch und halten Kontrakte ein.

Gegenwärtig wird allgemein die Frage nach einer humanen Gestaltung rechnerunterstützter Werkzeuge bzw. Arbeitssysteme gestellt. Dies führt dann weiter zu der Frage, was Menschen sinnvoll mit diesen rechnerunterstützten Arbeitssystemen tun können. Dies weitet sich zu der Frage aus, was Menschen im Bereich, koordinierter Tätigkeiten, linguistischer Aktionen in wissensintensiven Arbeitsprozessen sinnvolles machen können. Die theoretischen Grundlagen, die Methodologie der Informationssystemgestaltung und Softwareentwicklung verändern sich grundlegend, wenn man die modernen Informations- und Kommunikationstechnologien aus der Sicht ihrer möglichen sinnvollen Nutzung durch den Menschen in seinem Arbeitsprozess betrachtet. Man spricht heute<sup>72</sup> generell von einer traditionellen, technikzentrierten Herangehensweise gegenüber einer auf die Arbeitsprozesse und den Menschen ori-

70 Horn, E., Software Konstruktionshandbuch – nach dem Werkzeug & Materialansatz. dpunkt.verlag 1998.

71 ebenda

72 Floyd, Ch. / Klaren, H., Informatik: gestern, heute, morgen, Informatik und Gesellschaft, Fernstudium, Universität Tübingen 1998.

entierten Herangehensweise bei der Informationssystemgestaltung und Softwareentwicklung. Hier gilt es zu entdecken und zu konstruieren.<sup>73</sup>

## 6. *Veränderungen im wissenschaftstheoretischen Denken*

### 6.1. Zum Verhältnis von Subjekt und Objekt im Modellbildungsprozess und bei Anwendung der Modellmethode

Die tiefgehend Wandlung im wissenschaftstheoretischen Denken sowie in der philosophischen Reflexion über die Wissenschaftsentwicklung zeigt sich unter anderen auch darin, dass man heute bereit ist, hochkomplexe einzelwissenschaftliche Theorien als Modell zu verstehen bzw. sie von vornherein so zu bezeichnen (vgl. Ludwig v. Bertalanffy<sup>74</sup> und Walter Elsasser<sup>75</sup>). Indem die heutige moderne Wissenschaft den operativen Leistungseffekt der Theorie d.h. den Umfang und die Exaktheit der aus ihnen ableitbaren Voraussagen in den Vordergrund ihrer Bemühungen stellt, tritt der Anspruch auf ein so genanntes „ontologische Valent“, nach Erforschung der Objekte „an sich“, nach Abbildung eines „real Seienden“ zurück. Indem die Erforschung des Objekts dem Zweck der vorausgesetzten Wechselwirkung untergeordnet wird und damit dem dialektischen Prinzip der Einheit von Theorie und Praxis, wird bewusst nicht das Objekt „an sich“, sondern dieses nur in dem Maße erforscht, wie es entsprechend den vorgegebenen Zielen für die Praxis erforderlich ist.<sup>76</sup>

Damit wird offensichtlich den verschiedenen Varianten eines platten erkenntnistheoretischen Realismus von der modernen Wissenschaftsentwicklung eine Absage erteilt.<sup>77</sup>

Es gilt vielmehr, den wissenschaftstheoretisch wesentlich weiterführenden Gedanken von der Einheit bzw. organischen Ganzheitlichkeit von Subjektivem und Objektivem in der Systemforschung, wie es als entscheidendes Prinzip der Systemanalyse von Theoretikern und Praktikern entwickelt wurde, folgend, generell festzuhalten, dass wir die aktive Tätigkeit des Menschen, den subjektiven Faktor in der Systemforschung zu berücksichtigen haben.

73 Foerster, H. v., Entdecken oder Erfinden – Wie läßt sich Verstehen verstehen? In: Einführung in den Konstruktivismus. München-Zürich: Serie Piper 1992.

74 Bertalanffy, L. v., Das Modell des offenen Systems. A. a. O..

75 Elsasser, W. M., Elements of Theoretical Biology, a. a. O..

76 Stachowiak, H., Allgemeine Modelltheorie. Wien-New York: Springer-Verlag 1973; Peschel, M., Modellbildung für Signale und Systeme. Berlin: Verlag Technik 1978; Probleme der Informatik in Medizin und Biologie III. Wissenschaftliches Kolloquium zur Organisation der Informationsverarbeitung. Hrsg. v. Klaus Fuchs-Kittowski, Peter Gudermuth, J. Adam u. Ernst Mühlenberg. Berlin: Akademie-Verlag 1982.

77 Fuchs-Kittowski, K., Geist aus Materie – philosophische und methodologische Probleme zum Verhältnis von künstlicher und natürlicher Intelligenz. – In: 9. Kühlungsborner Kolloquium zu philosophischen und ethischen Problemen der Biologie. Hrsg. v. Ehrhard Geissler u. Günter Tembrock. Berlin: Akademie-Verlag 1989. S. 39 – 66.



Eine der entscheidenden philosophischen Fragen, die im Zusammenhang mit der Anwendung der Modellmethode in besonderer Form damit gestellt wird, ist die Frage nach unserer Fähigkeit oder Unfähigkeit die Wahrheit zu erkennen.

Die Anwendung und weitere Entwicklung der Modellmethode trägt entschieden zur Erosion eines naiv realistischen Standpunktes bei, der davon ausgeht, dass wir die äußere Welt der Dinge und Erscheinung von ihrer Beobachtung völlig getrennt – „objektiv“ – erfassen könnten. Sie trägt bei zur Überwindung des „karthesischen Schnitts“ durch den unsere Existenz gespalten wird in eine innere Welt des Denkens, des Wollens und der Emotionen – *res cogitanz* oder Geist – und eine äußere Welt der Dinge und Erscheinungen – *res extensa* oder physikalische Realität. Sie führt damit aber nicht, entgegen der, im Zusammenhang mit der Anwendung der Modellmethode, oftmals formulierten Behauptung, zwangsläufig zu einer anti realistischen und agnostizistischen Position. Aus deren Sicht ist eine wissenschaftliche Theorie nicht mehr als ein System von Aussagen, das durch Beobachtung und Experiment gestützt wird. Eine Theorie (und damit auch das Modell – das sie belegt oder eine Vorstufe zu ihr darstellt) ist demnach nur ein Instrument, das es uns ermöglicht Ergebnisse der Beobachtung und des Experiments mit einander zu verbinden und Vorhersagen zu treffen, die aber nicht als wahr oder falsch interpretiert werden könnten. Eine solche anti realistische Position, die davon ausgeht, dass der theoretische Anteil der Wissenschaft nicht gesichert sei, macht unter anderem geltend, dass die Wissenschaftsgeschichte zeigt wie eine Theorie von einer anderen abgelöst wurde, sich also Theorien als falsch erwiesen haben, mit deren Hilfe zuvor durchaus richtige Voraussagen gemacht werden konnten.

Aber tiefer gehende wissenschaftsphilosophische und wissenschaftstheoretische Überlegungen führen zu der Erkenntnis, dass es das Ziel der Wissenschaft ist und bleibt, die Strukturen und Prozesse der Natur, Gesellschaft und des Denkens zu untersuchen, um wesentlich Zusammenhänge aufzudecken, zu wahren Aussagen über die Welt zu gelangen, um die gewonnenen Erkenntnisse zum Wohle der Menschen anzuwenden.

Dies ist möglich, wenn wir die einzelnen Methoden wirklich in ihrem Zusammenspiel im Methodengefüge der Wissenschaften sehen und anzuwenden verstehen, so dass zum Beispiel die Rolle des Experiments in der Wissenschaft und seine Verbindung zur Theorie nicht nach der einen oder anderen Seite hin verabsolutiert wird.

Hier soll das Motto hervorgehoben, welches Lutz J. Heinrich seinem Vortrag zur Geschichte der Wirtschaftsinformatik vorangestellt hat: „Wissenschaft muss Wirkung zeigen – aber die Überprüfbarkeit ihrer Behauptungen ist das, was wissenschaftliche Tätigkeit von jeder anderen Art menschlicher Tätigkeit unterscheidet.“<sup>78</sup>

Die in der Evolution entstandene Fähigkeit des Menschen, etwas zu erkennen und Wahrheit zu wissen, wird durch die Entwicklung des Methodengefüges der Wis-

78 Heinrich, L. J., Geschichten der Wirtschaftsinformatik ODER Elemente einer Geschichte der Wirtschaftsinformatik? A. a. O..

senschaft nachhaltig unterstützt. Wir halten also daran fest, dass eine reale Welt außerhalb von uns und unabhängig von unseren Empfindungen existiert – das die Wahrheit der Aussagen Erkenntnis dieser Wirklichkeit ist. Im Verlaufe der Geschichte der Philosophie bzw. Wissenschaftstheorie sind unterschiedliche Positionen, wie die Korrespondenz-, Kohärenz-, Konsens-, Evidenz- und pragmatische Wahrheitstheorie vertreten worden. Hier kann nun nicht auf die verschiedenen Wahrheitstheorien im Detail eingegangen werden, die uns genauer sagen, wie Wahrheit zu gewinnen und zu prüfen ist.

In der erkenntnistheoretischen Tradition von Aristoteles steht die Korrespondenztheorie in den Wissenschaften an bevorzugter Stelle. Versteht man unter Wahrheit durch Beobachtung gesichertes Wissen scheint der Korrespondenztheorie auch kaum etwas im Wege zu stehen. Aber nicht alles lässt sich durch Beobachtung prüfen und hinzu kommt unsere Erkenntnis, dass die beobachteten Fakten meist erst im Rahmen einer Theorie wirklich verstanden werden können.

Speziell aus der hier vorgetragenen Sicht auf das Modell – als Synthese von Experiment und Theorie beim Erkenntnismodell, aber insbesondere die Konstruktion von Systemmodellen in und für soziale Organisation, ergibt sich die Notwendigkeit auch andere Wahrheitskriterien zu berücksichtigen. Gerade das Modell als Einheit von Empirischem und Theoretischem verweist auf die Bedeutung der Theorie in den experimentellen Wissenschaften. Der somit verdeutlichte Zusammenhang zwischen Theorie und Experiment, wie er durch die Modellentwicklung vermittelt wird, zeigt unsere Erkenntnis als Einheit von Abbild und Konstruktion, so dass eben kein naiver Realismus, sondern eher ein struktureller oder konstruktiver Realismus vertretbar ist. Ein so verstandener Realismus erkennt an, dass nur eine hochgradig abstrakte Struktur aus transformierten und interpretierten Sinnesdaten unser Bewusstsein erreicht, dass unsere innere Wirklichkeit ein Konstrukt ist, dessen Korrespondenz mit der Wirklichkeit nicht direkt zu erfassen ist, sich aber in der dem Leben dienenden, wissenschaftlich begründeten Praxis der Menschen bewährt. Diese komplizierte Subjekt-Objekt-Dialektik im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess gewinnt bei der Modellentwicklung und Anwendung im Bereich der menschlichen Gesellschaft noch wesentlich an Gewicht.

Aber auch in diesem Fall bedeutet der Verzicht auf eindeutiges Wissen durch die Methoden der Verifikation und Falsifikation nicht, dass nicht doch hochgradig relevantes Wissen gewonnen wird.

Wir sehen also, dass es auch und gerade für die Informatik und Wirtschaftsinformatik wichtig ist, sorgfältig zu fragen, was wirklich ist und was virtuell, was wir wissen können und was nicht, ja was Wissen (d.h. Wahrheit) überhaupt ist. Das geht nicht ohne Wissenschaftstheorie und Erkenntnistheorie, ohne Philosophie, ohne Reflexion über Wissenschaft und Technik. Objektivität als erkenntnistheoretisches Prinzip wird zu unterscheiden sein von „Objektivismus“ als einer zu hinterfragenden ontologischen Prämisse.

Der Objektivismus erklärt das „reine“ Wissen zum alleinigen und höchsten Wert. Wenn man das „reine Wissen“ zum höchsten Wert erhebt, ist jedoch die Frage nach dem Entscheidungskriterium der Wahrheit zu beantworten. Damit tritt das „reine“ objektive Wissen in eine enge Beziehung zum Ziel des Handelns und verliert so die Position des höchsten, alleinigen Wertes. Das eigentliche Ziel der Wissenschaft, ist es und muss es sein, dem Leben, dem Wohle des Menschen zu dienen. Wahr ist also letztlich das, was sich in der gemeinsamen menschlichen Tätigkeit bewährt. Es gibt, wie schon zuvor herausgearbeitet, einen engen Zusammenhang zwischen Erkenntnis und Tätigkeit. Versteht man Wissen als Handlungsmöglichkeit und damit, wie Nico Stehr schreibt, „als Modell für die Realität – und nicht als Modell der Realität“<sup>79</sup>, dann ist sowohl die Erzeugung als auch die Nutzung von Erkenntnissen mit der Fähigkeit des Menschen verbunden, die Wirklichkeit für seine Zwecke zu verändern.

Die verstärkte Notwendigkeit, die Einheit von Subjekt und Objekt, die aktive Tätigkeit des Menschen bzw. den subjektiven Faktor – bei der Modellierung – zu beachten, ist insbesondere auch mit der Tatsache verbunden, dass die Menschen selbst als wesentliche Elemente der Untersuchungsobjekte auftreten. Dies gilt insbesondere für die Modellbildung und -nutzung in der Medizin und im Gesundheitswesen, aber auch in der Wirtschaft zu beachten. Gerade für die hier zu modellierenden sozialen Systeme ist es charakteristisch dass das individuelle und kollektive Verhalten der Menschen entscheidende Aspekte des Systems als Ganzes bestimmen. Ist die Problemsituation vom Verhalten der Menschen abhängig, dann eben auch vom subjektiven Verständnis dieser Problemsituation, durch die das Verhalten beeinflusst wird. Daher wird bei der Modellierung, zum Beispiel von Betreuungssystemen im Gesundheitswesen, so viel Wert gelegt auf die Übereinstimmung zwischen innerer und äußerer Betrachtung der Problemsituation.<sup>80</sup>

Dies muss einschließlich der angewandten Methoden und Beachtung der unterschiedlichen Interessen des Auftraggebers, des Modellierers, der Nutzer und Betroffenen erfolgen. Diese spielen eine entscheidende Rolle durch Mitentscheidung und Mitgestaltung, d.h. durch eine partizipative Systemgestaltung. Die Spezifik des hier diskutierten Subjekt-Objekt-Verhältnisses bezieht sich also insbesondere auf all die sozialen bzw. sozio-technischen Systeme, wie medizinische Informationssysteme, medizinische Betreuungssysteme und andere, wo die Menschen als Gestalter selbst tätig werden.<sup>81</sup>

Es muss ein wesentliches Anliegen einer sich am Humanismus orientierenden Gesellschaftsgestaltung sein, die Potenziale gesellschaftlicher Entwicklungen zu erken-

79 Stehr, N., Grenzenlose Welten? – In: Die Internationalisierung von Wissen. Multidisziplinäre Beiträge zu neuen Praxen des Wissenstransfers. Hrsg. v. Gertraud Koch. St. Ingbert: Röhrig; Universitätsverlag 2006. S. 27 – 58.

80 Blau, J. R., Entwicklung von Methoden der objektivierten Beanspruchungsanalyse – Ein Beitrag zur Diagnose und Prognose der Kompetenz des Operators in Mensch-Maschine-Systeme. Dissertation. Ilmenau: Technischen Hochschule Ilmenau 1989; Fuchs-Kittowski, K. / Rosenthal, S. / Schlutow, G., Methods to select Problems in Medicine. A. a. O. S. 319 – 333.

nen und auf der Grundlage wissenschaftlich begründeter Gesellschaftstheorie und humanistischer Visionen, bewusst die sozio-technischen Systeme, die betrieblichen Informationssysteme, die Systeme der Gesundheitsversorgung und medizinischen Informationssystemen u.a. so zu gestalten und in die individuellen und sozialen Entwicklungsprozesse, in die konkrete Arbeits- und Lebensweise der Menschen, zu integrieren, dass der Mensch Subjekt der Entwicklung ist und bleibt. Dies steht einer scientistischen und technokratischen Konzeption einer autonomen Technikentwicklung entgegen.

Entsprechende Methoden und Instrumentarien für eine solche Gestaltung der Produktionsläufe sowie leistungs- und persönlichkeitsfördernder Arbeitsinhalte zur Verfügung zu stellen, ist eine der entscheidenden Herausforderungen an die Wissenschaft. Hier liegt eine der entscheidenden Quellen für die starke Zunahme der sozialen Bedeutung der Wissenschaft. Mit der Entwicklung der systemanalytischen Methoden und Instrumentarien und der relevanten arbeits- und organisationswissenschaftlichen Disziplinen werden wichtige Mittel zur Lenkung und Gestaltung sozialer und gesellschaftlicher Entwicklung, zur Bewältigung komplexer Entscheidungssituationen in Wirtschafts- und Wissenschaftsorganisation, wie auch in der Organisation des Gesundheitswesens, für die Gestaltung betrieblicher Organisationen bereitgestellt.

Wie wir deutlich zu machen suchen, sind damit quantitative und qualitative Wandlungen in der Wissenschaft selbst und ihrem Selbstverständnis eng verbunden.

## 7. Anwendungsbeispiele

### 7.1. Die Weltmodelle – Ein wesentlicher Ursprung der Umweltbewegung und der Umweltinformatik

Wir beginnen mit einem bekannten Beispiel – den Weltmodellen von Meadows et al.

Das Buch von Dennis Meadows und anderen: „Die Grenzen des Wachstums – Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit“<sup>82</sup> hatte wesentlichen Einfluss darauf, dass man sich der Lage hinsichtlich der Umweltbelastung durch die moderne Gesellschaft überhaupt erst bewusst wurde. Auf dem Klappdeckel heißt es: „Unkontrolliertes Wachstum hat die Menschheit in die Krise geführt. Sie steht an der Grenze ihrer irdischen Existenz.“

Die angewandte Methode, entsprechende Modellrechnungen durch die die komplexen Zusammenhänge zum Beispiel zwischen Rohstoffvorräten, Bekämpfung der

81 Fuchs-Kittowski, K., System Design, Design of Work and of Organization. – In: Proceedings of the International IFIP-Hub-Conference. A. a. O.; System Design for Human Development and Productivity – Participation and beyond. Ed by P. Docherty, Klaus Fuchs-Kittowski, P. Kolm and L. Mathiessen. Amsterdam: North Holland 1987.

82 Meadows, D. H. / Meadows, D. L. / Behrens W. W., Die Grenzen des Wachstums, Stuttgart: DVA 1972.

Umweltverschmutzung, erhöhter landwirtschaftlicher Produktion und Geburtenkontrolle verdeutlicht wurde, war ebenfalls neu. Ich konnte persönlich erleben, wie Meadows bestimmte Modellrechnungen im IIASA bei Wien durchführte. Die Umweltforschung ist eng verbunden mit der Nutzung der Methode der Systemmodellierung von Forrester und moderner Rechentechnik. Wie durch das Buch: „Die Neuen Grenzen des Wachstums“<sup>83</sup> verdeutlicht wird, ist durch die Berücksichtigung der damaligen Vorhersagen einiges erreicht worden, aber von der notwendigen „ökologischen Erneuerung“, von der erforderlichen „Umwelt-Revolution“ sind wir noch weit entfernt, so dass insbesondere im Umweltbereich die Methode der Modellierung, speziell im Rahmen der Umweltinformatik<sup>84</sup>, weiterhin umfassend genutzt werden muss. Die Modellmethode wurde jetzt auch genutzt, zur Vorausschau auf mögliche positive und negative Wirkungen der modernen Informations- und Kommunikationstechnologien, speziell des Pervasive Computing auf Gesundheit und Umwelt.<sup>85</sup>

## 7.2. *Biologische Forschung und die Entwicklung von effizienten Informations- und Kommunikationstechniken*

Die Entschlüsselung (Entzifferung) des Humangenoms ist eine der größten Forschungsleistungen unsere Tage. Effiziente Forschungsgruppen, der USA, Großbritanniens, Frankreichs, Japans und Deutschlands waren daran beteiligt. Aber auch Hochleistungscomputer wie „Deep Blue“ und jetzt „Blue Gene“ waren notwendig für diesen Erfolg.<sup>86</sup>

Natürlich ist die Entschlüsselung des menschlichen Genoms ein wichtiger Meilenstein in der bio-medizinischen Forschung, der jedoch ohne die Revolution in der Information und Kommunikationstechnologie nicht möglich gewesen wäre.

„Blue Gene“ stellt alles Vorherige an Computertechnik bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit in den Schatten. Diese Computerreihe arbeitet tausendmal schneller als „Deep Blue“, der 1997 den Schachweltmeister Gary Kasparov besiegte.

83 Meadows, D. H. / Meadows, D. L. / Randers, J., Die neuen Grenzen des Wachstums. Hamburg: Rowohl Verlag 1993.

84 siehe zum Beispiel: Die Entwicklung der Betrieblichen Umweltinformatik – Die Harmonisierung von Ökologie und Ökonomie – Bachelor of Science, Master of Science, Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin; Junker, H. / Lang, C., Betriebliche Umweltinformatik, Nachhaltigkeit und Informationsgesellschaft. – In: Stufen zur Informationsgesellschaft. Hrsg. v. Christiane Floyd, Christian Fuchs u. Wolfgang Hofkirchner. Frankfurt am Main-Berlin-Wien: Peter Lang Verlag 2002. S. 349 – 372.

85 Hilty, L. / Behrendt, S. / Binswanger, M. / Bruinik, A. / Erdmann, L. / Fröhlich, J. / Köhler, A. / Som, C. / Würtenberger, F., Das Vorsorgeprinzip in der Informationsgesellschaft – Auswirkungen des Pervasive Computing auf Gesundheit und Umwelt, TA-SWISS – Zentrum Technologiefolgeabschätzung (Hrsg.): Bern 2003.

86 Fuchs-Kittowski, K. / Rosenthal, A. / Rosenthal, H. A., Ambivalenz der Auswirkungen humangenetischer Forschungen auf Gesellschaft und Wissenschaft. – In: Gesellschaftliche Integrität der Forschung: Jahrbuch Wissenschaftsforschung 2005. Hrsg. v. Klaus Fischer u. Heinrich Parthey. Berlin: Gesellschaft für Wissenschaftsforschung 2006. S. 95 – 119.

Für die Entschlüsselung des Humangenoms und der computerisierten Auswertung und Speicherung der biologischen Information aus der Genomanalyse ist die Speicherung der gewonnenen Daten in Datenbanken eine Voraussetzung, da sie nicht anders aufbewahrt werden können.

Mit der wachsenden Verflechtung und wechselseitigen Durchdringung von Biochemie und Molekularbiologie gewinnen Datenbanken als eine wichtige Voraussetzung für die Modellbildung und -nutzung besondere Bedeutung in der biochemischen Forschung.

### *7.3. Grid Computing und Veränderungen der wissenschaftlichen Arbeit – Verschmelzung der experimentellen mit der theoretisch-mathematischen Methode, über und mit spezifischen Methoden der Informatik*

In CERN versuchen rund siebentausend Wissenschaftler die letzten Geheimnisse der Materie aufzuklären. Um die Datenflut bewältigen zu können, arbeiten sie am Computernetz der nächsten Generation, dem Grid.

Um den steigenden Anforderungen aus dem wissenschaftlichen Forschungsprozess an immer leistungsfähigere informationstechnologische Systeme entsprechen zu können, hat sich nach dem „Super-computing“ und dem „Cluster Computing“ eine weitere Art des Rechnens (der Nutzung der theoretisch-mathematischen Methode bzw. der Methode der informatischen Modellierung) entwickelt, das Grid-Computing.<sup>87</sup>

In Cern wurde von dem inzwischen geadelten Tim Berners-Lee das WWW entwickelt. Mit dem gegenwärtig in Cern vorangetriebenen Projekt geht es wieder darum, für die dort arbeitenden Physiker eine effiziente informationstechnische Infrastruktur zu entwickeln. Wieder könnte dies zu einer Technologie führen, die die Welt wesentlich verändert. Wenn der Large Hadron Collider (LHC) im Jahre 2007 in Betrieb geht, wird er jährlich bis zu 15 Petabytes an Daten liefern. Dies entspricht dem Inhalt von Millionen DVDs. Kein Rechenzentrum in der Welt ist in der Lage solche riesenhaften Datenmengen alleine zu analysieren. Hierzu bedarf es des „Grid's“. Das Grid soll es ermöglichen, dass Wissenschaftler der ganzen Welt auf die Daten zugreifen und sie gemeinsam auswerten können. Sie sollen diese Möglichkeit auch haben, wenn sie in ihren eigenen Rechenzentren nicht über die genügende Rechen-technik verfügen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit Zugriff auf Prozessorleistungen aber auch auf Daten und Anwendungen auf fremden Rechnern zu ermöglichen. Dies soll nicht über ein neues Internet erfolgen, sondern über die Erweiterung der Leistungsfähigkeit des bestehenden Netzes. So wie das WWW (Web) eine Plattform für den Austausch von Informationen ist, soll das Grid den Austausch von Rechnerressourcen ermöglichen. Die Vision ist, dass der Nutzer dann die Ressourcen in An-

87 Michalewicz, N., Die Bedeutung der Grid-Thematik für die IT-Landschaft moderner Unternehmen. – In: Datenbank Spektrum, Zeitschrift für Datenbanktechnologie. (2005)12, S. 31 – 43; Magalshvili, V. / Rode, O., Grid Computing, Belegarbeit im Fach Wirtschaftsinformatik und Gesellschaft. Berlin: Fachhochschule für Technik und Wirtschaft 2006.

spruch nimmt, wenn er sie wirklich braucht. Heute werden schon Überlegungen vorangetrieben, wie weit die Grid-Thematik für die IT-Landschaft moderner Unternehmen in Zukunft Bedeutung gewinnen kann.<sup>88</sup>

#### 7.4. Die „Neue KI-Forschung“

Eine enge Verbindung von Kognitionsforschung und Kognitionstechnologie sowie eine Verschmelzung der allgemeinwissenschaftlichen Methoden der Nutzung geistiger, informatischer Modelle, mit der Nutzung körperlicher Modelle erfolgt gegenwärtig in der „Neuen KI-Forschung“.

Als „Neue KI“ wird ein neuer Ansatz innerhalb der Künstlichen Intelligenz (KI) bezeichnet.

Dieser Ansatz ist in mehrfacher Weise bemerkenswert, so auch im Rahmen der hier zu behandelnden Thematik der Modellbildung im Methodengefüge der Wissenschaften.

Viele der Argumente der sogenannten KI-Kritiker werden akzeptiert. Vor allem das Argument von Hubert Dreyfus<sup>89</sup>, dass Begrenzungen frühere KI-Ansätze insbesondere darin begründet sind, dass die entwickelten Systeme keinen Körper haben.

Aus der Körperlichkeit, der relativen Autonomie der Systeme gegenüber ihrer Umwelt ergibt sich eine neue Sicht auf die Welt der Lebewesen.

Intelligenz ist dann nicht mehr ein Kriterium zur Abgrenzung des Menschen vom Tier, sondern ein gemeinsames Erbe, welches allen Lebewesen, wenn auch in unterschiedlicher Weise und Ausprägung, zukommt.

##### 7.4.1. Autonome Systeme: Softwareagenten

Die Agenten-Metapher wurde von einem der Pioniere der KI-Forschung, Marvin Minsky (1985), eingeführt. Er wollte damit lineare Programmstrukturen als Modell kognitiver Prozesse überwinden. Anstelle eines zentral abzuarbeitenden Programms werden viele miteinander interagierende Spezialprogramme, sogenannten Agenten, genutzt. Diese Agenten haben einen Handlungsspielraum, so dass sie einen ihnen übergebenen Auftrag relativ selbständig ausführen können. Manche Vertreter der KI sprechen hier vom „kooperativen Problemlösen“, für manche haben die Agenten dabei Gefühle und Wünsche. Dies sind bei diesem Ansatz der KI-Forschung mögliche Übertreibungen. Denn es bleibt dann wieder zu definieren, was hier unter Problem, unter Gefühl usw. zu verstehen ist. Im Ganzen ist jedoch die „Neue KI“ hinsichtlich dessen, was sie zu erreichen wünschen wesentlich zurückhaltender, als manche Vertreter der „alten“ bzw. der sog. starken KI-Forschung.

88 Michalewicz, M., Die Bedeutung der Grid-Thematik für die IT-Landschaft moderner Unternehmen. – In: Datenbank Spektrum, Zeitschrift für Datenbanktechnologie. (2005)12, S. 31 – 43.

89 Dreyfus, H., Die Grenzen künstlicher Intelligenz – Was Computer nicht können. Athenäum, 1985.

Das Besondere dieses neuen Ansatzes besteht insbesondere darin, dass die Reihenfolge in der die Agenten ihre speziellen Fähigkeiten zur Auftrags erledigung einsetzen, von ihnen selbst organisiert werden soll.

Wir haben einerseits heute in den Neurowissenschaften ein besonders starkes Anwachsen an Einzelwissen über das Gehirn und andererseits ein relativ unsystematisches experimentieren mit Künstlichen Neuronalen Netzen. Auch hier liegt die Verschränkung der Forschungen am Modell und beim Experiment nahe, um zu einer Erklärung des Verhaltens solcher „hochgradig parallel“ funktionierender Systeme zu gelangen.

Das Wesentliche an Agenten ist das Agieren. Dies kann als Verhalten angesehen werden, welches formale Lernprozesse, d.h. Lernen durch Aufnahme von Signalen aus der Außenwelt zur Grundlage hat.<sup>90</sup>

#### 7.4.2. *Autonome Systeme: Roboter*

Die Überlegungen zur Selbstorganisation und Generierung von Bedeutungen fanden auch in der modernen KI-Forschung fruchtbare Anwendung. Es wird versucht bestimmte Aspekte von Selbstorganisation zu simulieren. Wie Peter Fleissner und Gregor Fleissner mit ihrem Gedankenmodell "Der Blinder Springer"<sup>91</sup> zeigen konnten, geht es hierbei insbesondere um das Zusammenspiel von Vorgängen zwischen physischer und symbolischer Welt (Pragmatik) sowie die Entstehung von Bedeutungen durch diese Interaktion.

Das evolutionäre Konzept der Information<sup>92</sup> geht davon aus, dass Information in unterschiedlicher Qualität auf verschiedenen Ebenen der Organisation lebender Materie erzeugt und genutzt wird. Damit gibt es auch qualitativ verschiedene Prozesse der Semantisierung zuvor bedeutungsloser Strukturen.

Christian Stary und Markus Peschl zeigen anhand des Verständnisses der Information als Trias von Syntax, Semantik und Pragmatik die Notwendigkeit und Möglichkeit den kognitivistischen Ansatz mit dem konnektivistischen Ansatz der KI-Forschung zu verbinden, sodass KI-Systeme entstehen, welche die Vorteile beider Ansätze, speziell die Möglichkeit der Gewinnung von Bedeutungen (extensionaler Semantik) durch aktives Verhalten in der Umwelt zu nutzen, vgl. Abbildung 7.<sup>93</sup>

Das neue Paradigma der sogenannte neuen KI-Forschung (Körperbasierten Artificial Intelligence), die Autonome Agenten schaffen will, speziell Softwareagenten und

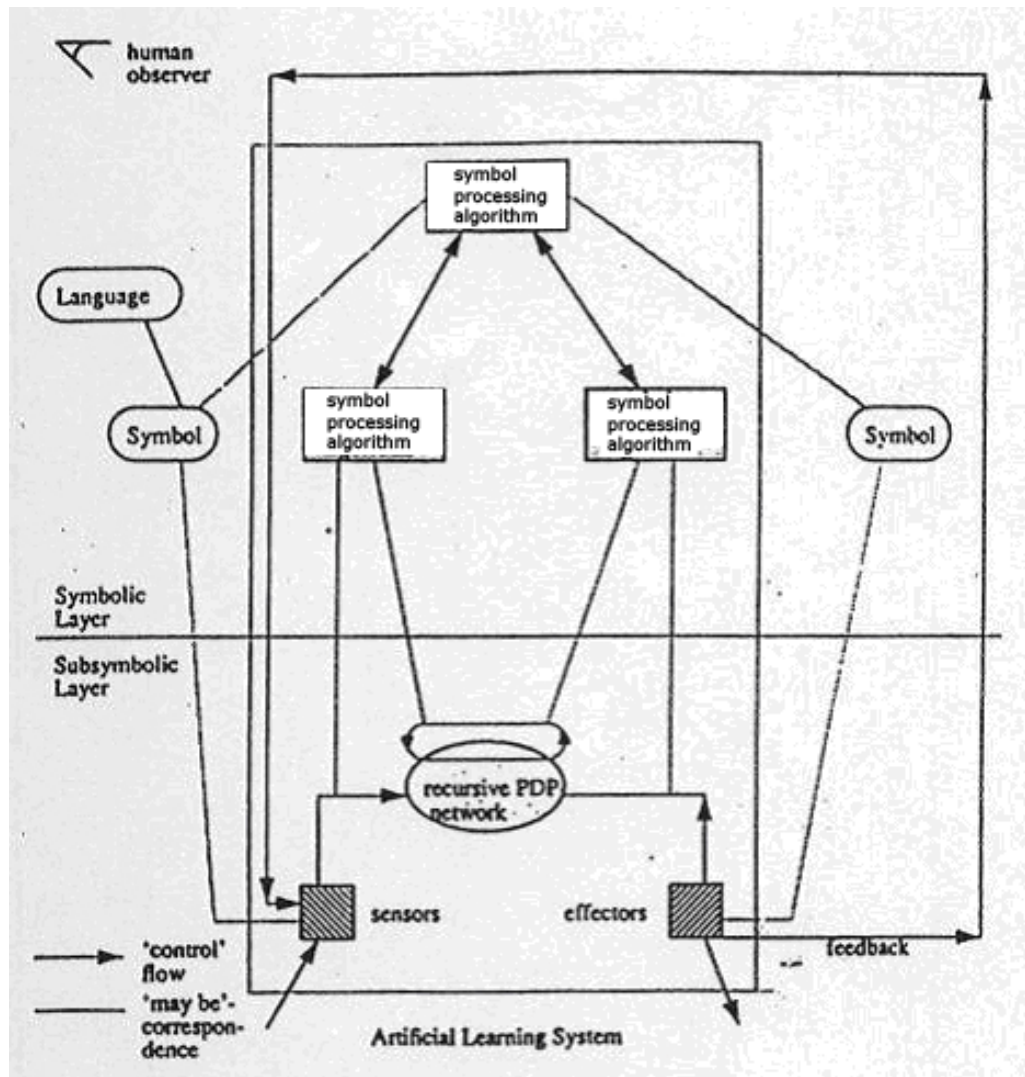
90 Fuchs-Kittowski, K. Das Leben der Technik – Mechanismen der Informationsverarbeitung, interne Informationsentstehung und Ethik. – In: Werte für Europa – Medienkultur und ethische Bildung in und für Europa. Hrsg. v. Peter Docherty, Klaus Fuchs-Kittowski, P. Kolm u. L Mathiasen. Düsseldorf: B+B Medien 2006.

91 Fleissner, P., / Fleissner, G., Jenseits des chinesischen Zimmers: Der blinde Springer – Selbstorganisierte Semantik und Pragmatik am Computer. – In: Information und Selbstorganisation- Annäherung an eine vereinheitlichte Theorie der Information. Hrsg. v. N. Fenzel, Wolfgang Hofkirchner u. G. Stockinger. Wien: Studien Verlag 1998. S. 325 – 338.

92 Fuchs-Kittowski, K., Reflections on the Essence of Information. – In: Software Development and Reality Construction. A. a. O. S. 416 – 432.



Abbildung 7: *KI-Modell von Christian Stary und Markus Peschl verbindet den kognitivistischen mit dem konnektivistischen Ansatz*



Roboter, die in der Lage sind, sich selbständig mit ihrer Umwelt auseinanderzusetzen, muss sich der Frage stellen, wie emergente Eigenschaften entstehen [Emergent AI] und vor allem auch ob und wie Semantik entstehen kann. Mit den qualitativ unterschiedenen Ebenen der Informationsverarbeitung sind auch qualitativ verschiedene Prozesse der Semantikgenerierung zu beachten. Der qualitative Unterschied zwischen der semantischer Informationsverarbeitung des Menschen, bei der Inhalte (begriffliche Bedeutungen) durch andere Inhalte verändert werden – Semantik direkt auf Semantik wirkt und der syntaktischen bzw. maschinellen Informationsverarbeitung, bei der man durch syntaktische Transformationsprozesse zu neuen Bedeutungen gelangt<sup>94</sup>, bleibt bestehen, aber die Transformationsprozesse

93 Stary, Ch. / Peschl M., Towards Constructivist Unification of Conventional Machine Learning and Parallel Distributed Processing. – In: Android Epistemology. Ed. by K. Ford, C. Glymour and P. Hayes. MIT-Press 2006. S. 183 – 214.

und die ihnen zugeordneten Bedeutungen liegen nicht von vornherein fest, sondern bilden sich in der Interaktion mit der Umwelt erst heraus.

Besonders charakteristisch für die Neue Künstliche Intelligenz ist das Neuronale-Netz-Modell zur Steuerung der sechs Beine eines laufenden Roboters des Biologen Holk Cruse.<sup>95</sup> Es geht ihm um die Aufklärung der neuronalen Grundlagen der ebenfalls sechsbeinigen Stabheuschrecke (*carausius morosus*), also um empirische neurobiologische Forschung.

Die Konstruktion von Robotern erweist sich hier als günstiger als die Simulation im Computer. Die tatsächlichen physiologischen Gegebenheiten sind offensichtlich viel zu kompliziert, um sie adäquat mit einer Computersimulation zu erfassen. Immer mehr Forscher nutzen daher die Möglichkeit funktionale Teilaspekte von Tieren in Form von Robotern nachzubilden. Die Bewegungskoordination bei der Stabheuschrecke ist dafür ein Vorbild. Denn die klassische Lösung des Problems hätte ein symbolisches Modell vorausgesetzt, durch das die Beinbewegungen repräsentiert wird. Die jetzt eingebauten sensorischen Rückmeldungen über den Zustand der Umwelt und des eigenen Körpers ersparen viel Aufwand für die modellhafte Repräsentation.<sup>96</sup>

Verallgemeinernd kann festgestellt werden: Es handelt sich hier um Systeme, die in der Lage sind, miteinander in Kontakt zu treten, zu kommunizieren.

Sie verfügen über Strukturen, die semantisiert werden können. Bestimmte Verhaltenselemente existieren schon und andere können erlernt werden. Die Systeme verfügen über Informationsverarbeitungsmechanismen, die es ermöglichen aus einer Potenz noch nicht bedeuteter Verhaltensweisen (Produktion von Lautfolgen bei den Vögeln<sup>98</sup>, Sprungversuche beim Reiter) zufällige Muster auszuwählen und mit Bedeutungen zu belegen. Das ist die Fähigkeit, Duette auszubilden bzw. verschiedene Sprünge zu realisieren).

Die Bedeutung der Signale ist also nicht von vornherein vorgegeben, sondern es findet eine Semantisierung bzw. ihre Bedeutung statt.

94 Fuchs-Kittowski, K. / Lemgo, K. / Schuster, U. / Wenzlaff, B., Man/Computer Communication: A Problem of Linking Semantic and Syntactic Information Processing. – In: Workshop on Data Communication, September 15-19, 1975, International Institute for Applied Systems Analysis 2361 Laxenburg, Austria

95 Cruse, H. / Dean, J. / Ritter, H., Die Erfindung der Intelligenz oder können Ameisen denken? München: C. H. Beck 1998; Cruse, Holk Objective facts, subjective experiences, and neuronal constructs. – In: Knowledge and the world: challenges beyond the science war. Ed. by M. Carrier, J. Roggenhofer, G. Küppers and Ph. Blanchard. Berlin: Springer 2004. S. 191 – 209.

96 Pfeifer, R., Teaching Powerful Ideas with Autonomous Mobile Robots. – In: Journal of Computer Sciences Education. 7(1997)2, S. 161 – 186.

97 Möller, R. et al. (1998): Insect Strategies of Visual Homing in Mobile Robots. – In: Proc. Computer Vision and Mobile Robotics Workshop, CVMR'98, 37-45FORTH, Heraklion, Greece

98 Jahn, R., Information in selbstreferentiellen Systemen in der Ethologie. – In: Information und Selbstorganisation. Hrsg. v. Norbert Frenzel, Wolfgang Hofkirchner u. Gottfried Stockinger. Innsbruck: Studien Verlag 1998. S. 211 – 252.

Handelt es sich um eine Semantisierung zuvor bedeutungsloser Strukturen, um die Bedeutung der Syntax, so geht es um „extensionale Semantik“, denn sie hat keine oder sehr reduzierte Intensionalität. Um von einer Semantik zu einer anderen Semantik zu gelangen, bedarf es der entsprechenden Syntaxtransformationen. Erst auf den höheren Stufen erlangen Semantikbeziehungen eine konstituierende Funktion, indem sie Syntaxtransformationen steuern. So zum Beispiel beim sematischen feedback im sich selbst organisierenden Recherchesystem<sup>99</sup> Hier haben wir es mit „intensionaler Semantik“ zu tun. Intensional heißt dann, dass die Semantik direkt – nicht nur vermittelt über Syntaxtransformationen – auf Semantik wirkt.

Ob dies durch das neue Forschungsprojekt der EU – das im Kinderzimmer spielende Roboter Kind<sup>100</sup> – wirklich wird leisten können bleibt abzuwarten. Doch im Zusammenhang mit der hier zu behandelnden Thematik: der Modellbildung im Methodengefüge der Wissenschaft ist festzustellen, daß mit der Neuen KI-Forschung nun auch die zuvor von einander getrennten gesehenen körperlichen und symbolischen Modell miteinander verschmelzen zu einem neuen fruchtbaren Forschungsansatz.

#### 7.4.3. *Informatische Modellierung betrieblicher Leistungs-, Leitungs- und Kommunikationsprozesse*

Die Gestaltung von Informationssystemen in betrieblicher Organisation durch Informatiker und speziell Wirtschaftsinformatiker ist deutlich eines der zentralen Anwendungsgebiete der informatischen Modellmethode<sup>101</sup> Auf die Modellierung betrieblicher Leistungs- und Leitungsprozesse sowie speziell der Kommunikationsprozesse zu deren Unterstützung durch den Einsatz moderne Informations- und Kommunikationstechnologien kann hier nicht mehr im Detail eingegangen werden. Aber es ist offensichtlich, das die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen wesentlich von ihrer Fähigkeit bestimmt ist, Marktanforderungen vorauszusehen. Dazu bedarf es der modernen Informations- und Kommunikationstechnologien. Sie müssen rational und menschengerecht Gestaltet und in die komplexe menschliche Tätigkeit, in die betriebliche Organisation integriert werden. Die weiter Differenzierung der

99 Brier, S., What Is a Possible Ontological and Epistemeological Framework for a True Universal Information Science? The Suggestion of Cybersemiotics. – In: The Quest for a Unified Theory of Information, World Futures General Evolution Studies, Volume 13. Ed. by Wolfgang Hofkirchner. Gordon and Breach Publishers, Australien, Germany, 1994 S. 41; Brier, S., The Usefulness of Cybersemiotics in Dealing with Problems of Knowledge Organization and Dokument Mediation Systems. – In: Cybernetica. 30(1996)4; Fuchs-Kittowski, K., Informations- und Kommunikationstechnologien – Organisation und Management des Wissens. – In: Allgemeine Technologie – Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft, Hrsg. v. Gerhard Banse u. Ernst-Otto Reher. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Band 50, Jahrgang 2001.

100 Dworschka, K. M., Roboter in der Krabbelstube. – In Der Spiegel, 52/2005.

101 Herausforderungen der Wirtschaftsinformatik. Hrsg. v. René Riedl u. Thomas Auinger. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag 2004.

Arbeitsprozesse, der Projekte und der betrieblichen Organisationsformen führt zu einem erhöhten Bedarf an qualifizierter Kommunikation zur Erreichung der Geschäftsziele.<sup>102</sup> Es zeigt sich jedoch immer deutlicher, dass allein die Verfügbarkeit über moderne IKT keine hinreichende Bedingung für eine sinnvolle Organisation der Kommunikation ist. Wichtig wird hier zum Beispiel ein Anwendungsmodell, welches die Integration der verschiedenen Strategien des Wissensmanagements: der informationsorientierten sowie der kommunikationsorientierten gestattet.<sup>103</sup>

## 8. *Probleme und Potenziale der Modellbildung und Simulation*

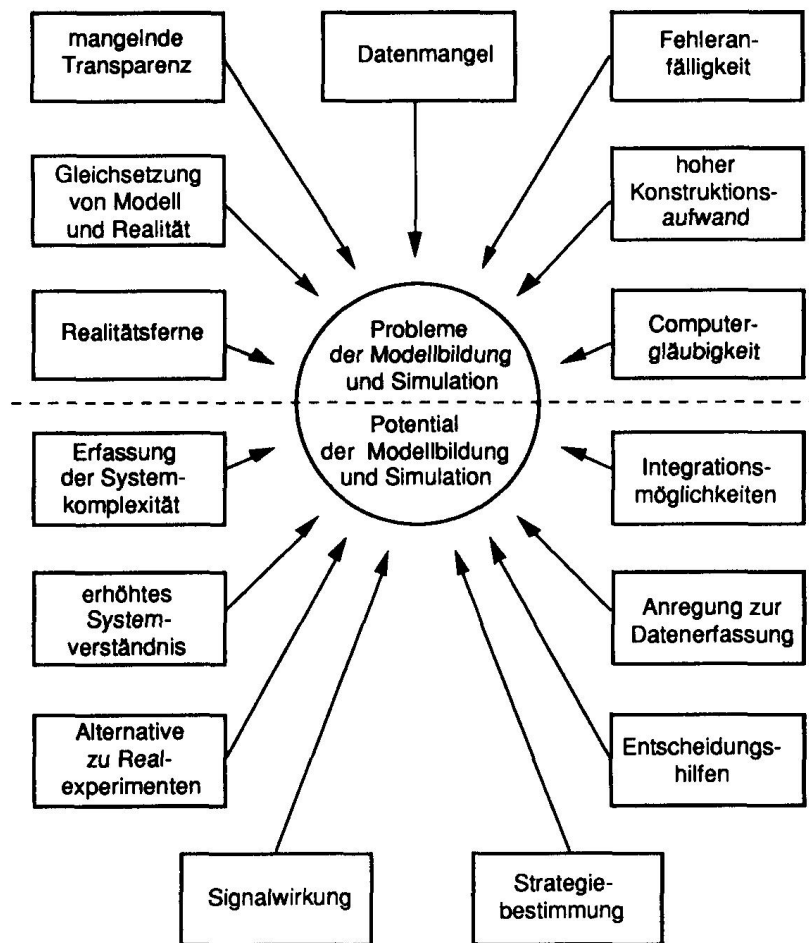
Modellierung bzw. computerunterstützte Simulation bietet dem Experimentator Möglichkeiten, die bei Experimenten am realen Objekt nicht gegeben sind. Aber auch diese neue Form wissenschaftlicher Vorgehensweise, dieser neuen Form der Verschmelzung von Theorie und Experiment sind Grenzen gesetzt. Die Entwicklung des Modells kann sehr aufwendig sein und kann die Komplexität der Problemstellung noch weiter erschweren. Wenn zuvor betont wurde, dass der Subjektbezug des Modells zu beachten ist, so birgt die Subjektivität der Betrachtung des Modellierers Gefahren.

Zusammenfassend soll festgestellt werden: Wenn wir hier die revolutionäre Rolle der Methode und speziell die Bedeutung der Modellmethode für die Erforschung natürlicher und gesellschaftlicher Systeme und Prozesse herausgearbeitet haben, ging es um die Verdeutlichung charakteristischer Züge moderner Wissenschaftsentwicklung. Wenn wir zugleich zu verdeutlichen suchten, das damit auch eine Veränderung des Wissenschaftsverständnisses verbunden ist, so muss zugleich auch gesagt werden, dass übertriebene Vorstellungen von einer völlig neuen Qualität der (mathematischen) Beherrschung natürlicher, technischer und sozialer Systeme und Prozesse durch die Modellmethode und dem Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien nicht das Wort geredet werden kann und soll. Rechnerunterstützte Simulation wird für die Lösung einer Vielzahl von Problemen angeboten. Die Berechtigung dazu liegt zunächst darin, dass in der Tat im Bemühen um Präzision und Voraussicht wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden. Übertriebene Erwartungen an die Leistungskraft formaler Systeme beruhen jedoch unter anderem auf dem einfachen erkenntnistheoretisch-methodologischen Fehler der Verwechs-

102 Kamphusmann, Th., Modellierung, Analyse und Gestaltung Betrieblicher Kommunikation. – In: Wissensprozesse in der Netzwerkgesellschaft. Hrsg. v. Peter Gendolla u. Jürgen Schäfer. Bielefeld: transcript Verlag 2005.

103 Fuchs-Kittowski, F. / Prinz, W., Interaktionsorientiertes Wissensmanagement. Frankfurt am Main-Berlin-Wien: Peterlang Verlag 2005; Fuchs-Kittowski, K., Strategies for the Effective Integration of ICT into Social Organization – Organization of Information Processing and the Necessity of Social Informatics. – In: Social Informatics : An Information Society for All ? In Remembrance of Rob Kling. Ed. by Jaques Berleur, Marcu I. Nurminen and John Impagliazzo. New York : Springer Verlag 2006.

Abbildung 8: *Potenziale und Probleme der Modellbildung und Simulation*  
(Page, B., a. a. O.. S. 20.)



lung von Wirklichkeit und Modell. Bei der Übertreibung wird auch dort das formale Modell als eine gute Repräsentation der Wirklichkeit angesehen, wo es nur einige Aspekte der Wirklichkeit in erster Annäherung wiedergibt. Also ohne die Erfassung der wirklich wesentlichen Zusammenhänge.

Dies trifft, wie deutlich wurde, zum Beispiel zu, wenn makroökonomische Prognosemodelle eine wirtschaftliche und politische Rationalität unterstellen, wo die Grundlage für die bewusste Gestaltung der Produktionsverhältnisse und konkreten Lebensweise fehlen oder bei Vorhandensein solcher Grundlagen die Möglichkeiten zur bewussten Gestaltung nicht genutzt werden, da eine Selbstlaufkonzeption letztlich unterstellt wird.

Wenn bei der Modellierung von Informationsprozessen nicht die Einheit von Informationssystem, Arbeits- und Organisationsgestaltung gesehen wird, muss für die Geringschätzung des sozialen Kontextes, der menschlichen Seite der Arbeitsprozesse, mit Havarien und ineffektiven sowie unvollendet bleibenden Projekten bezahlt werden.<sup>104</sup>

Auf die Begrenztheit von Simulationsmodellen wurde sehr klar von Joseph Weizenbaum verwiesen.<sup>105</sup> Im Untertitel der Originalausgabe: „Computer Power and Human Reason“ heißt es: „From Judgement to Calculation“. Politikern seines Landes macht Joseph Weizenbaum den Vorwurf, dass sie immer weniger ihre Aufgabe darin sehen, die politische Situation, die sozial wirksamen Kräfte, wirklich einzuschätzen, sondern sich immer mehr allein auf Ergebnisse aus Simulationsmodelle verließen. Aber, wie zum Beispiel Simulationsmodelle vom Verlauf des Vietnamkrieges belegen, gehen viele Größen, wie Kampfeswille des Gegners, Heimatliebe unter anderen nicht in die Modellrechnung ein. Die alleinige Orientierung an der „Modellwahrheit“, der Verzicht auf eine umfassendere Beurteilung der wirklichen Situation, wird somit oftmals in die Irre führen. Auch heute fragt Joseph Weizenbaum weiter: „Wo sind sie, die Inseln der Vernunft im Cyberstrom?“<sup>106</sup>

Die Grenzen zwischen formalem Modell und nicht formaler Wirklichkeit werden auch tragisch deutlich, wenn einerseits ein erwünschter Durchbruch in der Mustererkennung einen sicheren Schild gegen Raketenangriffe bieten soll, während in der Realität das elektronische Feuerleitsystem weder in Größe noch Anflugwinkel zwischen einem angreifenden, kleinen Jagdflugzeug und einem großen aufsteigenden Jumbojet mit zivilen Passagieren unterscheiden kann.<sup>107</sup> Dies zeigt deutlich, dass es immer die Kluft zwischen formalem Modell und der Dynamik der realen Lebensprozesse zu überbrücken gilt und es durchaus folgeschwer sein kann, würde man sich auf die Leistungskraft formaler Konstruktionen allein verlassen.<sup>108</sup> Die Exaktheit einer Wissenschaft ist nicht allein durch den Grad der Anwendung der Mathematik bestimmt, sondern durch den Grad der Erkenntnis und Beherrschung der von ihr zu untersuchenden wesentlichen Zusammenhänge, der Erschließung der den gewonnenen Daten zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten.

Wenn wir also dem Gedanken Kants, „dass in jeder besonderen Naturlehre nur so viel eigentliche Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin Mathematik anzutreffen ist“<sup>109</sup> nicht in seiner Absolutheit folgen, ja nach dem zuletzt Gesagten auch

104 Fuchs-Kittowski, K., Strategies for the Effective Integration of ICT into Social Organization – Organization of Information Processing and the Necessity of Social Informatics. A a. O., S. 431 – 444

105 Weizenbaum, J., Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft. Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag 1977.

106 Weizenbaum, J. / Wendt, G., Wo sind sie, die Inseln der Vernunft im Cyberstrom? – Auswege aus der programmierten Gesellschaft. Freiburg-Basel-Wien: Herder Verlag 2006.

107 Brunstein, K., Human Intelligence and AI. – In: Opportunities and Risks of Artificial Intelligence Systems ORAIS'89, Proceedings of the International IFIP-GI-Conference. Ed. by Klaus Brunstein, Simone Fischer-Hübner and Rolf Engelbrecht. Faculty for Informatics, University of Hamburg 1991, S. 136 – 142.

108 Bei dem Lawinenunglück in Galtür, Österreich, wurde der Kern des Dorfes besonders hart betroffen, obwohl nach den Aussagen der Computersimulation das Dorfzentrum in der Gefahrenfreien Zone lag. Die Fehleinschätzung trat ein, weil zu wenig Daten für die Simulation zur Verfügung standen

nicht folgen dürfen, so ist es doch eine erregende Aufgabe unserer Zeit, genauer zu untersuchen, welche neuen Möglichkeiten der Biologie und Medizin und der Wissenschaft überhaupt, durch das Eindringen der Mathematik, der Kybernetik, der Informatik, der modernen Informations- und Kommunikationstechnologien und damit eng verbunden, durch die Entwicklung der Modellmethode, geboten werden.

Der vom Menschen stets zu überbrückende Gegensatz zwischen der sich dynamisch entwickelnden natürlichen und sozialen Wirklichkeit und formalen Modellen, ihre Leistungsfähigkeit und Grenzen liegen eben gerade darin begründet, dass es menschlichen Konstruktionen sind, die sich von der Wirklichkeit unterscheiden. Die Methode der Modellierung, die rechnerunterstützte Simulation kann daher nur in engem Zusammenhang mit den beiden traditionellen Zweigen wissenschaftlicher Methodologie – Experiment bzw. experimentelle Methode und Theorie bzw. theoretisch-mathematische Methode – angewendet werden. Angemessene mathematische Modellierung, entsprechende Softwareentwicklung und Informationssystemgestaltung in der Industrie und so auch in Medizin und Gesundheitswesen, kann daher auch nur unter Mitwirkung der Nutzer und Betroffenen, als den eigentlichen Experten der Arbeitsprozesse, erfolgreich sein.

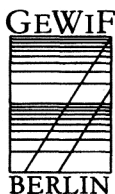
Das informatische Modell, die informatische Modellmethode, so ist grundsätzlich festzuhalten, gewinnt im Methodengefüge der Wissenschaft und Technik immer größeres Gewicht. Ihre Bedeutung kann kaum überschätzt werden, da sie nicht nur vermittels der Erkenntnismodelle zum Erkenntnisgewinn in den Wissenschaften beiträgt sondern weil sie, durch Abstraktion und semiformale Beschreibung, die Arbeitsteilung zwischen Maschine und schöpferisch tätigem Menschen unterstützen.

Die informatische Modellierung im Rahmen des moderne Software Engineering hat eine Kultur der Modellierung entwickelt die in allen Phasen der Softwareentwicklung und -nutzung fruchtbar wird. Die Modellwelt des Software Engineering, die hier entwickelten Methoden der informatischen Modellierung, sind auch auf andere Ingenieurdisziplinen übertragbar. Dies kann wesentlich zur Systematisierung und Standardisierung und somit auch zur Entwicklung einer allgemeinen Technologie beitragen. Im Rahmen einer interdisziplinären Diskussion der Probleme der informatischen Modellierung wird es somit möglich und notwendig an der erforderlicher Reflexion über Wissenschaft und Technik mitzuwirken.





Gesellschaft für  
Wissenschaftsforschung



Heinrich Parthey  
Günter Spur (Hrsg.)

**Wissenschaft und Technik  
in theoretischer Reflexion**

**Wissenschaftsforschung  
Jahrbuch 2006**

Mit Beiträgen von:

*Gerhard Banse · Klaus Fischer  
Klaus Fuchs Kittowski · Siegfried Greif  
Karlheinz Lüdtke · Heinrich Parthey  
Günter Spur · Rüdiger Wink*



**PETER LANG**

Frankfurt am Main · Berlin · Bern · Bruxelles · New York · Oxford · Wien

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in  
der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische  
Daten sind im Internet über <<http://www.d-nb.de>> abrufbar.

Gedruckt auf alterungsbeständigem,  
säurefreiem Papier.

ISBN-10: 3-631-55523-7  
ISBN-13: 978-3-631-55523-1

© Peter Lang GmbH  
Europäischer Verlag der Wissenschaften  
Frankfurt am Main 2007  
Alle Rechte vorbehalten.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich  
geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des  
Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages  
unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für  
Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die  
Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Printed in Germany 1 2 3 4 5 7

[www.peterlang.de](http://www.peterlang.de)