

# Die Vielfalt der Modelle in der Informatik

Marco Thomas

Universität Potsdam - Didaktik der Informatik  
Postfach 60 15 53, 14415 Potsdam  
mthomas@cs.uni-potsdam.de

Die Bedeutung der Informatischen Modellbildung für den Schulunterricht wird von Seiten der Informatikdidaktiker immer wieder betont. Das Modell als Gegenstand einer Modellbildung existiert jedoch auch in der Fachwissenschaft Informatik in zahlreichen Facetten. Diese lassen sich unter Verwendung der Allgemeinen Modelltheorie von Stachowiak systematisch aufzeigen. Dabei wird deutlich, dass sich die Vielfalt der Modelle umfassend in der Informatik wiederfindet. Das Herausstellen von Modelltypen, wie sie in der Informatik verwendet werden, dient der begrifflichen Präzisierung der Informatischen Modellbildung und zeigt einen Beitrag des Informatikunterrichts zur Allgemeinbildung auf.

## Einleitung

Die Begriffe "Modellbildung" und "Modellieren" werden bereits seit längerem in Curricula zum Informatikunterricht verwendet und Didaktiker der Informatik betonen immer wieder die Wichtigkeit der Informatischen Modellbildung. Es besteht jedoch kein Konsens, was unter dem Begriff "Informatische Modellbildung" oder "Informatische Modellierung" zu verstehen ist.

Die Auswahl und Anordnung der zu vermittelnden Modelle und Modellbildungstechniken in den Curricula orientiert sich i.d.R. wissenschaftspropädeutisch an der Fachwissenschaft Informatik, es bleibt jedoch - ebenso wie in der fachdidaktischen Literatur - offen, ob das Wesen der Wissenschaft Informatik durch die meist aus der Softwareentwicklung entnommenen Modelle und Modellbildungstechniken im Informatikunterricht angemessen repräsentiert wird, oder diese nur dem derzeitigen Verständnis von Informatikunterricht entgekommen.

⇒ **Frage: Welche Modelle und (zugehörige) Modellbildungstechniken der Informatik gibt es?**

Zwar wird eine informatische Modellbildung häufig als Säule der Legitimation des Schulfaches Informatik benannt, doch bleibt der spezifische Beitrag einer informatischen Modellbildung im Rahmen eines Schulfaches Informatik zur Allgemeinbildung weitestgehend ungeklärt.

⇒ **Frage: Warum soll ein Schüler bestimmte Modelle und Modellierungstechniken der Informatik vermittelt bekommen?**

In der Vergangenheit haben auch andere Fachdidaktiken - insbesondere die Naturwissenschaften - die Modellbildung als einen allgemeinbildenden Kern ihrer Fachwissenschaften ausgewiesen.

⇒ **Frage: Was bietet der Informatikunterricht gegenüber anderen Schulfächern bezüglich der Modellbildung Neues?**

Diese Fragen können in dem vorliegenden Beitrag noch nicht vollständig beantwortet werden, doch wenn es uns aufzuzeigen gelingt, dass in der Informatik eine umfassende Vielfalt an Modellen - und entsprechenden Modellierungstechniken - existieren und diese Informatische Modellbildung in ihrer Gesamtheit exemplarisch für "Modellbildung im Allgemeinen" stehen kann, dann dürfte diese Informatische Modellbildung als potentiell allgemeinbildend gelten.

Im Gegensatz zu anderen Ansätzen (Hubwieser (2000), Schubert (2000)) werden wir unsere Suche zunächst weniger auf die Techniken zur Erstellung von Modellen richten, sondern die Modelle selbst suchen, da unserer Ansicht nach zum einen keine Anwendung einer Modellbildungstechnik ohne

Vorstellung über das intendierte Modell erfolgen kann und zum anderen Modelle sich besser bestimmen und unterscheiden lassen als Modellbildungstechniken<sup>1</sup>.

## **Informatische Modellbildung - ein Begriff mit vielen Inhalten**

Die nordrhein-westfälischen Richtlinien zur Informatik in der Sekundarstufe I (1993) nennen Modellbildung als ein grundlegendes Ziel des Informatikunterrichts, wobei Modellbildung als Teilphase der Simulation verstanden wird. Simulation wird als ein im Wesentlichen vierphasiger Zyklus charakterisiert, zum Zwecke der Nachbildung von Vorgängen auf Rechenanlagen (vgl. Schülerduden Informatik (1997)):

- Analyse der zu simulierenden Vorgänge der Realwelt,
- Entwicklung eines Simulationsmodells,
- Durchführung der Simulation mit einem geeigneten Werkzeug sowie
- Interpretation und kritische Beurteilung der Simulationsergebnisse.

Wedekind et al. (1998) unterscheiden präzisierend zwei Formen der Simulation: die Realsimulation und das Simulationsmodell. Überall dort, wo Realsimulationen nicht möglich sind oder ihre Durchführung zu aufwendig bzw. zu kostenintensiv ist, werden Simulationsmodelle eingesetzt. Simulationsmodelle sind nach Wedekind spezielle "deskriptive Modelle von Systemen technischer oder natürlicher Art, die an bestimmte materiale Vorgaben gebunden sind", d.h. es werden gewisse Charakteristika der Ausgangssysteme im Modell zweckorientiert erhalten und für das modellierte System Anfangs- und Randbedingungen festgelegt. Simulation ist ein Einsatzbereich von mit informatischen Methoden erzeugten Modellen.

Während in den nordrhein-westfälischen Richtlinien zur Sekundarstufe I außer den Simulationsmodellen keine weiteren informatik-relevanten Modelltypen thematisiert werden, grenzt Wedekind für die Fachwissenschaft Informatik auf einer Metaebene Simulationsmodelle von Idealmodellen<sup>2</sup> und von Veranschaulichungsmodellen ab. Aufgabe der Informatik bei der Erstellung von Ideal- und Simulationsmodellen sei zum einen die Ausgangsbeschreibungen informatisch modellierbar zu machen und zum anderen Beschreibungen und Modelle in eine zweckmäßige Darstellung zu bringen. Dabei sei es nicht Hauptaufgabe eines Informatikers zu entscheiden, was inhaltlich mit der modellierenden Ausgangsbeschreibung einer Fachwissenschaft beschrieben, modelliert und dargestellt werden soll, sondern ihn muss interessieren, wie methodisch Beschreibungen, Modelle und Visualisierungen in einer bestimmten Fachwissenschaft durchgeführt werden, um diese Vorgänge in einem (computerisierbaren) Modell der Informatik abbilden zu können.

In seinem Buch "Didaktik der Informatik" gibt Baumann (1990, S. 162ff) verschiedene allgemeine Modelltypen an, konkretisiert diese allerdings für die Informatik oder für den Informatikunterricht nicht ausreichend. Er unterscheidet "Gebildemodelle" und "mentale Modelle" sowie Modelle zur Beschreibung, Erklärung und Entscheidungsfindung. Auch den Computer selbst bezeichnet er als Modell. Werden mit einem Modell Versuche durchgeführt, spricht er von Simulation, ist das Modell ein Computerprogramm, von einer Computersimulation.

In den nordrhein-westfälischen Oberstufenrichtlinien (1999) wird Modellbildung im Sinne von "ein Informatikmodell gewinnen" zu einer durchgehenden fachspezifischen Methode des Informatikunterrichts. Unter einem Informatikmodell verstehen diese Richtlinien ein technisches Idealmodell, welches "das konzeptionelle Gerüst des Informatiksystems beschreibt" (S.12). Dies entspricht der Anforderungsdefinition und der Spezifikation in einem Phasenmodell oder den OOA- und OOD-Modellen des objektorientierten Vorgehensmodells im Softwareentwicklungsprozess (vgl.a. Hubwieser (2000)).

In zahlreichen anderen Kontexten der Richtlinien wird der Begriff Modell explizit (Maschinenmodelle, Automatenmodelle, didaktische Modellsysteme, Datenaustausch- und

---

<sup>1</sup> Diese können anschließend gegebenenfalls aus Modellen gewonnen und zugeordnet werden.

<sup>2</sup> Deskriptive Idealmodelle sind Beschreibungen von (empirisch gewonnenen) Sachverhalten, die möglichst an ein Strukturmodell (Theorie) anpassbar sein sollen, um den beschriebenen Sachverhalt mit einer Theorie erklären zu können. Hierzu werden irrelevante Merkmale vernachlässigt, Wert- und Funktionsverläufe geglättet und andere idealisierende Operationen vorgenommen werden. Technische Idealmodelle beschreiben technische Aufbauten und Abläufe, deren Bestandteile ihren technischen Funktionsbestimmungen in idealer Weise gehorchen.

Kommunikationsmodelle, Datenbankmodelle) oder implizit (Computersimulation, Objektdiagramm, Interaktionsdiagramm) angewandt, ohne jedoch *Modelltypen* in der Informatik und ihre Verwendung als Modelle zu thematisieren. In den Rahmenlehrplänen anderer Bundesländer wird teilweise in ähnlich vielfältiger Weise vom "Modellieren" oder von "Informatikmodellen" gesprochen.

## Was ist ein Modell?

Wenn wir klären wollen, welche Modelle in der Informatik vorkommen, können wir nicht von einer Definition *des* "Informatischen Modells" oder *des* "Informatischen Modellierens" ausgehen, sondern müssen einen allgemeineren Ansatz verwenden, wie ihn Stachowiak (1973) mit der Allgemeinen Modelltheorie (AMT) vorgelegt hat.

Die AMT basiert auf einer Erkenntnis- und Methodenlehre (Systematischer Neopragmatismus), die deutlich Wahl und Entscheidung von Subjekten berücksichtigt und nicht mehr versucht, die absolute Wahrheit zu erkennen. Mit der AMT erhalten wir eine systematische Methode für eine erste Darstellung und Klärung von Modellbegriffen in der Informatik. Stachowiak weist zwar darauf hin, dass die aus einer allgemeinen Begriffsanalyse entwickelte Struktur der AMT nicht vollständig ist (S. 128), sie wurde jedoch hinreichend breit angelegt, so dass sie für unsere Zwecke gut geeignet ist.

Was zeichnet Modelle aus? Modelle sind Bestandteile eines Prozesses, in welchem sie von einem Subjekt zu einem Original<sup>3</sup> für einen bestimmten Zweck konstruiert und eingesetzt werden. Dieser Prozess wird mit Modellbildung bezeichnet (Abb. 1).

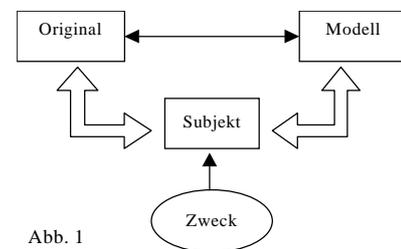


Abb. 1

Ein Modell ist immer auch als System<sup>4</sup> auffassbar. Ein System (z.B. das natürliche Ökosystem) ist jedoch nicht zwingend ein Modell. Merkmale, Eigenschaften und Relationen von Systemkomponenten bezeichnen wir als Attribute.

Woran erkennen wir nun ein Modell? Von einem Modell für ein Original kann dann gesprochen werden, wenn ein Original in verkürzter Weise abgebildet wird, d.h.

- einige Originalattribute fortgelassen werden (Präterition), aber auch
- einige Modellattribute zusätzlich eingeführt werden (Abundanz),
- einige Originalattribute mit anderen Bedeutungen belegt werden (Transkodierung) oder
- einige Originalattribute hervorgehoben werden (Kontrastierung).

*Beispiel: Von-Neumann-Rechner*

Im Jahre 1946 beschrieben Burks, Goldstine und John von Neumann ein technisches Idealmodell für einen Rechner, der sämtliche berechenbaren Probleme lösen kann. Unter Vernachlässigung technischer Details (Präterition) skizzierten sie den logischen und räumlichen Aufbau (Kontrastierung) eines Rechenautomaten entsprechend ihren gedanklichen Überlegungen, indem sie für die Kommunikation notwendige schrift-sprachliche Konstrukte hinzufügten (Abundanz).

An dem obigen Beispiel wird deutlich, dass ein Modell sowohl Abbild "von etwas" (hier: Denkmodelle) als auch Vorbild "für etwas" (hier: Computergerät) sein kann. Sind die bei der Modellierung vorgenommenen Operationen umkehrbar eindeutig, lassen sich modellseitig gewonnene Einsichten und Erkenntnisse direkt auf das Original übertragen.

<sup>3</sup> Wedekind (1998) weist darauf hin, dass die "besondere Leistung der Informatik gerade in der Abstraktion von den konkreten Gegenstandsbezügen der einzelnen Fachdisziplinen" besteht, dem Modellieren des Modellierens. Dementsprechend bleiben wir bei dem umfassenderen Begriff des "Originals" als Ausgangsobjekt einer informatischen Modellierung. Gerade wenn Apostel (1960, S. 4) meint: "Model and prototype can belong to the same class of entities or to different classes of entities.", kann das Ausgangsobjekt einer Modellbildung nicht immer aus der Wirklichkeit stammen.

<sup>4</sup> Unter einem System verstehen wir die Zusammenfassung mehrerer Elemente, die in irgendeiner aber bestimmter Weise miteinander in Beziehung stehen, zu einer durch seine Funktionalität als Ganzes aufzufassenden Einheit, mit offenen, teilweise geschlossenen oder vollständig geschlossenen Grenzen zu seiner Umwelt.

*Beispiel: Im Von-Neumann-Modell wird deutlich, dass ein paralleler Datenaustausch zwischen Leitwerk und Rechenwerk einen Geschwindigkeitszuwachs verspricht (Von-Neumann-Flaschenhals).*

Das "mathematische Modell" im Sinne der mathematischen Modelltheorie ist eine gültige Interpretation einer Struktur: "A possible realization in which all valid sentences of a theory T are satisfied is called a model of T" (Tarski (1961)). Dieser Modelltyp findet sich in der Informatik unter anderem im Kontext der logischen Programmierung ( $\lambda$ -Kalkül, Prolog). Wir werden jedoch im Folgenden auf diesen Modelltyp nicht mehr eingehen, da ihm ein anderes Verständnis des Begriffs Modell zugrunde zu liegen scheint.

## **Wie lassen sich Modelle unterscheiden?**

Modelle können hinsichtlich ihrer Originale, ihrem Zweck, ihren Attributen und der Adäquatheit von Original und Modell unterschieden werden.

Ein Subjekt verbindet mit einem Modell stets einen Zweck, zu dem das Modell konstruiert oder genutzt wird, wobei Modellkonstrukteur und Modellnutzer nicht automatisch den gleichen Zweck mit dem gleichen Modell verbinden müssen (Perspektivenproblem). Mit Modellen verbundene Intentionen können sein: Didaktische Veranschaulichung, Experimentalisierung, Repräsentation, Prognosen, Kommunikation, Theoriebildung, Nutzbarmachung eines Originals, Erkenntnisgewinn, Handlungsgrundlage u.v.m. Den Hauptzweck einer Modellbildung in der Informatik sehen Wedekind et al. (1998) darin, "die aus den Fachwissenschaften stammenden Modelle so umzuschreiben, daß sie mit Hilfe eines Computers dargestellt und bearbeitet werden können".

Da Modelle zweck-, zeit- und subjektorientiert erstellt werden, können zu einem Original verschiedene Modelle existieren. Zum Vergleich von Original und Modell muss dem Modellerschaffer und/oder dem Modellnutzer bekannt sein, unter Anwendung welcher Operationen das Modell an das Original angeglichen wurde. Es lassen sich in Anlehnung an Stachowiak (S. 138ff) drei Angleichungsebenen unterscheiden:

- Die strukturell-formale Angleichung bezieht sich auf Attribute, die Relationen zwischen Komponenten der Entitäten beschreiben.  
*Z.B. können die potentiellen Wege des Handlungsreisenden in einem isomorphen Graphen dargestellt werden.*
- Die material-inhaltliche Angleichung bezieht sich auf (sekundäre) Attribute, die die Bedeutung, den Sinn und die Vorstellung zu einem Attribut beschreiben.  
*Z.B. kann jede Komponente eines vollständigen Schaltbildes die gleiche Bedeutung wie die jeweilige Komponente in der realen Schaltung haben. Ein derartiges Schaltbild ist nicht nur von maximaler materialer Angleichung (isohyl), sondern auch isomorph.*
- Die naturalistische Angleichung<sup>5</sup> bezieht sich auf Attribute, die materiell-energetische und raumzeitliche Eigenschaften von Entitäten beschreiben.  
*Z.B. kann in einer Simulation eine Kontraktion der Zeit relativ zur Echtzeit im Original erfolgen.*

Stachowiak gibt zur Differenzierung von Modellen eine pragmatische Einteilung in graphische, technische und semantische Modelle an, die sich weiter verfeinern läßt:

- Graphische Modelle sind im wesentlichen zweidimensionale Modelle. Die Originale stammen meist aus dem Bereich des Wahrnehmens, des Vorstellens und der gedanklichen Operationen. Grafische Modelle, die unmittelbar ihre Bedeutung repräsentieren, werden als ikonisch bezeichnet, während symbolischen Modellen ihre Bedeutung, ihr Kode zugeordnet werden muss (s.a. Frey (1961)).
- Technische Modelle sind vorwiegend dreidimensionale, raumzeitliche und materiell-energetische Repräsentationen von Originalen. Entsprechend der Natur ihrer Attribute lassen sich physiko-, bio-, psycho- und soziotechnische Modelle unterscheiden.
- Semantische Modelle sind Kommunikationssysteme, die ein Subjekt zur informationellen Verarbeitung seiner Wirklichkeit verwendet. Es wird zwischen den internen Modellen der

---

<sup>5</sup> Die Hinzunahme einer dritten naturalistischen Angleichungsebene (Stachowiak spricht nur von 2 Ebenen) verdeutlicht die Angleichung von Attributen auf der physikalisch-materiellen Ebene und damit der Wahrnehmung durch den Menschen.

Perzeption und des Denkens sowie den externen semantischen Modellen, die sich aus Zeichen und Zeichenkombinationen aufbauen, unterschieden.

Die Übergänge zwischen einzelnen Modelltypen sind häufig fließend, es kann also nicht von einer Klassifikation gesprochen werden (ist für unsere Zwecke auch nicht erforderlich).

## **Welche Modelle finden sich in der Informatik?**

### **Graphische Modelle in der Informatik**

Im Bereich der Softwareentwicklung werden verschiedenste Darstellungsmodelle für Vorgehensmodelle des Entwicklungsprozess, zum Festhalten von Entwürfen und als Kommunikationsgrundlage verwendet. Die bekanntesten Vorgehensmodelle in der Softwareentwicklung sind das Phasenmodell, das iterierte Phasenmodell, das Prototypenmodell, das evolutionäre Modell, das transformationelle Modell, das Spiralmodell und als aktuellstes, das objektorientierte Modell. Weitere Vorgehensmodelle finden sich beispielsweise beim Qualitätsmanagement (V-Modell). Diese vielfältigen Modelle der Informatik können alle mit graphischen Darstellungsmodellen, aber auch in schriftsprachlicher Form (externes semantisches Modell) beschrieben werden<sup>6</sup>. Die Vorgehensmodelle selbst, die diesen Darstellungen zugrunde liegen, basieren auf vom Subjekt wahrgenommenen und "erdachten" Aktivitäten (interne semantische Modelle).

Mit der Unified Modelling Language UML intendieren Booch, Rumbaugh und Jacobson (1998) eine Vereinheitlichung der verbreitetsten Methoden für die objektorientierte Softwareentwicklung. Die UML stellt dazu eine Vielzahl unterschiedlicher Darstellungsmodelle zur Verfügung, die in den verschiedensten Phasen des Softwareentwicklungsprozesses eingesetzt werden können: Strukturdiagramme (Klassen- und Paketdiagramme), Verhaltensdiagramme (Anwendungsfall, Interaktions-, Sequenz-, Kollaborations- Zustands- und Aktivitätsdiagramme) und Implementierungsdiagramme (Komponenten- und Einsatzdiagramme). Hubwieser (2000) schlägt vor, diese Modelle (er spricht von Modellierungstechniken) in didaktisch reduzierter Form als Kern einer Schulinformatik zu verwenden.

Weitere graphische Darstellungsmodelle finden sich in der Theoretischen Informatik (Graphen, Bäume, Darstellungen der Turingmaschine oder der Registermaschine), in der Technischen Informatik (Schaltbilder von logischen Schaltgattern oder Rechnerarchitekturen), in der Praktischen Informatik (OSI-Referenzmodell, Schichtenmodelle, ...) usw.

Ikonisch-grafische Bildmodelle, die i.d.R. ohne weitere Erläuterungen verständlich sind, finden sich in der Informatik im Bereich der Software-Ergonomie: Piktogramme unterstützen den Benutzer bei der Bedienung von Soft- und Hardware, indem Vertrautes teilschematisch abgebildet wird und damit eine Assoziation (z.B. mit der Funktion "Datei löschen") erzeugt wird. Die Entwicklung von Veranschaulichungsmodellen für (informatische) Modelle anderer Typen ist nach Wedekind (1998) eine wichtige Aufgabe der Informatik. Hierzu zählt die Visualisierung von und der Umgang mit zwei- oder dreidimensionalen Szenen als Monitorbild oder -bildfolgen und - im Übergang zu den technischen Modellen - die Holographie.

Darstellungsmodelle und Bildmodelle werden nach Schwill (1994) und Thomas (1998) in der Informatik meist als Zwischenschritte zur Konstruktion von "enaktiven" Modellen eingesetzt. Enaktive Modelle übernehmen - zumindest teilweise - die Dynamik des Originals und werden vom Menschen als weitestgehend identisch zu ihren Originalen erfasst. Es lassen sich vier Typen unterscheiden (vgl. Crutzen (1995)): simulierende, registrierende, regelnde und autonome Modelle (z.B. Simulationswerkzeug à la DYNASYS, Messdatenverarbeitung, Ampelsteuerung und Agenten).

Es scheint, dass mit den Modellen der UML zahlreiche Darstellungsmodelle der AMT abgedeckt werden, was für eine allgemeinbildende Stellung der UML in der Schulinformatik sprechen würde.

---

<sup>6</sup> Und sollten im Informatikunterricht ihren Platz haben, um eine vergleichende Betrachtung unterschiedlicher Modelle und Vorgehensweisen durchführen zu können.

Die Bedeutung von beispielsweise Graphen für die Theoretische Informatik kommt jedoch bei alleiniger Behandlung der UML oder einer Beschränkung der Schulinformatik auf die Softwareentwicklung nicht zum Ausdruck.

### **Technische Modelle in der Informatik**

Je nachdem, ob die Modellattribute im wesentlichen anorganischer, organisch-organismischer, psychischer oder sozialer Natur sind, unterscheidet Stachowiak technische Modelle<sup>7</sup> in physiko- bio-, psycho- und soziotechnische Modelle.

Zu den physikotechnischen Modellen zählen in der Informatik vor allem elektronische Modelle, wie Integrierte Schaltkreise basierend auf booleschen Operatoren als Gehirn eines Informatiksystems oder ein Roboterarm als elektronische Alternative zum menschlichen Arm. Mechanische und elektromechanische Modelle finden sich vorwiegend in der Entwicklungsgeschichte der Informatik, z.B. Lochkartengesteuerte Webstühle, die Rechenmaschinen von Schickard, Pascal und Leibniz sowie Holleriths Volkszählmaschine. Bezeichnenderweise sind mechanische Modelle in der Informatik überwiegend dynamisch. Als elektro-chemische Modelle kann man den Quantencomputer und Entwicklungen in der informationsverarbeitenden Nanotechnik ansehen. Unter einem Computermodell versteht Stachowiak ein "durch den Automaten realisiertes Programm" (S. 188), d.h. kommunikations- und informationsverarbeitende Prozesse in einem Computer. Computermodelle befinden sich im Grenzbereich zwischen technischen und semantischen Modellen.

Die Konstruktion von Informatiksystemen, die auf organisch-organismischen Bausteinen beruhen, ist noch Zukunftsmusik, doch seitdem vor ca. 40 Jahren dem schwedischen Ingenieur Arne Larsson in Stockholm der erste völlig mobile Herzschrittmacher eingepflanzt wurde, wird versucht, elektronische Geräte mit dem biologischen Organismus zu koppeln. Am 24. März 1998 gelang Roy Bakay in Atlanta die erste Direktverbindung zwischen Menschengehirn und Elektronengehirn mit der eine Nervenschädigung eines Patienten teilweise aufgehoben werden konnte. Die Verschmelzung von lebenden und künstlichen informationsverarbeitenden Systemen kann dazu führen, dass nicht nur biologische Organismen künstliche Systeme kontrollieren, sondern auch künstliche Informatiksysteme biologische Systeme. Für massiv paralleles Rechnen wird bereits untersucht, inwieweit sich DNA-Stränge zur Informationsverarbeitung und -speicherung eignen. Diese biotechnischen Modelle der Informatik sind aufgrund ihrer ethischen Auswirkungen auf die Gesellschaft für eine Behandlung in der Schulinformatik ebenso bedeutend, wie die Gentechnologie im Biologieunterricht.

Informatiksysteme führen zu einem veränderten Lehr- und Lernverhalten in der Gesellschaft. Modelle in der Informatik, die dem Aufbau, der Prüfung und der Verbesserung von individuumorientierten Lehr- und Lerntheorien im Kontext von Informatiksystemen dienen, gehören zu den psychotechnischen Modellen (Computer unterstützter Unterricht, Telelearning-Konzepte, CSCW-Konzepte).

Von verschiedenen Autoren wird die Informatik als Gestaltungswissenschaft verstanden, die ein Wissensgebiet beschreibt, das neben der mathematisch-technischen Dimension die gesellschaftlichen, ökonomischen und sozialen Aspekte berücksichtigt, in die Informatiksysteme eingebettet werden. So findet sich an den Universitäten mit Informatikstudiengängen zunehmend ein Teilgebiet "Informatik und Gesellschaft". Insbesondere die evolutionäre und objektorientierte Softwareentwicklung beinhalten nach Foegen (1996) eine Auseinandersetzung mit soziotechnischen Systemen und der Entwicklung entsprechender Modelle im Kontext einer Mensch-Maschine-Kommunikation.

### **Semantische Modelle in der Informatik**

Für die kommunikative Welt des Menschen hat Stachowiak ein Metamodell semantischer Stufen angegeben, das auf im Wesentlichen drei interdependenten Ebenen die Verwendung von Modellen zur Kommunikation aufzeigt. Modelle einer höheren Stufe stellen jeweils Kommunikationssysteme (Modelle) für Systeme der niedrigeren Stufe dar.

---

<sup>7</sup> Immer mehr Leistungen des menschlichen Organismus werden durch Maschinen übernommen, einzelne Funktionen des Menschen werden auf Maschinen "abgebildet". Schaefer (1977) vertritt die Ansicht, dass jede Maschine, die eine Funktion des Menschen abbildet, als Modell bezeichnet werden kann.

- Auf der nullten, uneigentlichen semantischen Stufe befinden sich alle Zeichenträger (materielle Information), potentiell bedeutungstragende Ausdrucksformen, aus denen sich alle möglichen Ausdrücke eines Kommunikationssystem konstruieren lassen: Laute, Gesten und andere Signale; in der Informatik sprechen wir meist von Daten.
- Zur ersten semantischen Stufe zählen interne semantische Modelle der Perzeption und der Kogitation. Diese Modelle dienen der "Selbstkommunikation" des Subjekts und vermitteln zwischen der subjektbezogenen Realwelt und dem operativem Zentrum, dem Gegenwärtigkeitssystem sowie dem Informationsspeicher des Subjekts. Wahrnehmung und Denken findet sowohl unter Anwendung vorhandener interner Modelle statt als auch durch Modellierung neuer interner Modelle. Letzteres geschieht beispielsweise bei der Interpretation von Simulationsergebnissen. Ohne interne semantische Modelle und der Möglichkeit auf diesen mental Operationen ausüben zu können, ist der Mensch nicht handlungsfähig. Auf die Bedeutung interner semantischer Modelle im Bereich der Software-Ergonomie hat Dutke (1994) hingewiesen und zum Aufbau interner Modelle (Dutke spricht von mentalen Modellen) eine Exploration von Informatiksystemen angeregt. Die AG Didaktik der Informatik an der Universität Paderborn verfolgt diesen Ansatz mittels einer Unterrichtsmethode der "Dekonstruktion von Informatiksystemen" (Magenheim et al. (1998)). Friedrich und Neupert (1997) legen in einer Fallstudie anhand einiger Fehlermeldungen eines Webbrowsers dar, wie utopisch die Vorstellung einer bewussten, effizienten Handhabung solcher Informatiksysteme ohne entsprechende Grundvorstellungen ist. Zu den Perzeptionsmodellen gehört die von Breier (1994) für die Schulausbildung geforderte informationelle Sichtweise der Welt. Die von Schwill (1994) für die Informatik herausgearbeiteten fundamentalen Ideen können mit Stachowiak den Kogitativen Modellen zugeordnet werden; ebenso der "abstrakte Automat" als zusammenfassendes Denkmodell für kybernetische Modelle (Steinbuch (1977)).
- Modelle der zweiten Stufe und eventuell folgender Stufen sind Systeme zur Kommunikation über Modelle der jeweils niedrigeren Stufe, sogenannte externe semantische Modelle: sprech-sprachlich, schriftsprachlich, fachsprachlich, maschinensprachlich usw.  
Aufgrund seiner Erfahrung mit Telefonbüchern kennt ein Mensch beispielsweise den Prozess der Interpolationssuche und hat ein internes Modell hierzu entwickelt. Diesen Prozess kann er sprech-sprachlich vermitteln oder mittels einer "natürlichen" Schriftsprache darlegen. Die Verwendung einer formalen Sprache führt zu einem externen semantischen Modell, das den Prozess der Interpolationssuche derart präzisiert, dass beispielsweise vergleichende Effizienzbetrachtungen angestellt werden können. Auf einer "höheren" Stufe wird möglicherweise eine Programmiersprache oder eine Maschinensprache verwendet, um den Prozess der Interpolationssuche für einen Computer aufzubereiten. Die Interpolationssuche wird also in der Informatik durch verschiedene semantische Modelle repräsentiert, abhängig vom Zweck des Modells. Aufgabe des Subjekts ist es, das geeignete (externe) semantische Modelle anzuwenden bzw. zu modellieren.

Interessanterweise kann man das Metamodell semantischer Stufen auf die kommunikative Welt der informationsverarbeitenden Maschine übertragen, der Computer wird zum Subjekt. Dann könnte die Einteilung in Analogie zu Stachowiak wie folgt aussehen:

0. Stufe: enthält alle Zeichenträger ohne Bedeutung, also kontinuierliche und diskrete Signale, Daten und Nachrichten. Diese Stufe unterscheidet sich inhaltlich kaum von der obigen nullten Stufe.
1. Stufe: enthält Perzeptionsmodelle (Wahrnehmung = Signalempfang) und Kogitative Modelle (Denken = Signalverarbeitung). Informatiksysteme enthalten meist Gebilde zum Empfang von Signalen optischer, auditiver und elektrischer Natur. Die Signalverarbeitung findet vorwiegend auf elektronischem Wege statt. Insbesondere letzteres wird in der Technischen Informatik einem Kerngebiet der Informatik behandelt. Die elektronischen Modelle werden unter anderem aus Modellen von Mathematikern (Dualzahlensystem), der Biologie (Nervensystem) und der Kognitionswissenschaften (Mustererkennung) mittels der Modelloperationen gewonnen. Wenn man davon ausgeht, dass der Mensch interne semantische Modelle letztendlich auch nur basierend auf elektrischen Signalen ausbildet, könnte man soweit gehen zu sagen, dass einem (zukünftigen) Computer diese Fähigkeit der Verarbeitung von internen Modellen ebenfalls zugestanden werden muss. Kognitionswissenschaften und Informatik arbeiten in diesem Bereich fächerverbindend und befruchten sich gegenseitig.

2. Stufe: und alle folgenden Stufen enthalten externe semantische Informationseinheiten, die im eigentlichen Sinne bedeutungstragenden Zeichen in der expliziten Kommunikation zwischen Subjekten (hier: Computern). Hierzu zählen Kommunikationssysteme, die Meta-Modelle für Modelle der 1. Stufe darstellen (Wörter und Sätze, derzeit auf binärer Ebene). Der Mensch speichert und verarbeitet seine internen semantischen Modelle mittels elektrischer Signale. Leider kann er im Gegensatz zum Informatiksystem auf diesem Weg i.d.R. nicht mit anderen Subjekten kommunizieren. Zur zwischenmenschlichen Kommunikation werden daher auditive, visuelle und taktile Sprachen eingesetzt, auf unterschiedlichen Abstraktionsstufen. Diese, dem Menschen geläufigen, Kommunikationssysteme werden auch für die Mensch-Maschine-Kommunikation eingesetzt. Als reizvolle Frage stellt sich nun, ob Computer über ihre Selbst-Kommunikation kommunizieren, wenn sie Informationen aus ihren Berechnungen austauschen oder sich auf Protokolle verständigen?

In der Abbildung 2 werden den von Stachowiak in der AMT dargestellten Modelltypen entsprechende Modelle der Informatik zugeordnet, um die Modellvielfalt in der Informatik ansatzweise aufzuzeigen.

### **Fazit:**

Es zeigt sich, dass im Wesentlichen alle Modelltypen, die Stachowiak in seiner AMT darlegt, in der Informatik von Bedeutung sind oder waren. Die systematische Auseinandersetzung mit Modellen der Informatik "aller" Modelltypen, ihr Einsatz und insbesondere ihre Konstruktion könnten daher ein wichtiger Beitrag zur Ausbildung einer allgemeinbildungsrelevanten Modellierungsfähigkeit sein, insbesondere da diese Bildung vermutlich nicht von anderen Schulfächern systematisch, umfassend und konstruktiv-handlungsorientiert vermittelt werden kann.

Die Modelle, wie sie im Softwareengineering verwendet werden, decken eine breite Palette informatischer Modelle ab, stellen jedoch nur einen Ausschnitt informatischer Modellbildung dar.

Eine inhaltliche Ausrichtung der Curricula an den Modellen der Informatik könnte zu einem allgemeinbildenden und das Wesen der Informatik umfassenden Informatikunterricht führen.

### **Ausblick**

Die dargestellte Sammlung von Modellen der Informatik ist im Hinblick auf die Ausgangsfragen systematisch zu vervollständigen, um das Besondere informatischer Modelle im Vergleich zu Modellen aus anderen Fachwissenschaften herausarbeiten zu können. Modellbildungstechniken sind, soweit möglich, den Modellen zuzuordnen. Für den Informatikunterricht gilt es eine Reihe von exemplarischen Modellen aufzustellen, die das Wesen der Informatik und das Modellieren im Allgemeinen schülerorientiert vermitteln können.

### **Literatur**

- Apostel, L.: Towards the formal study of models in the non-formal sciences. In: Freudenthal, H.: The concept and the role of the model in mathematics and natural and social sciences. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company 1961, S. 1-37
- Baumann, R.: Didaktik der Informatik, Klett-Schulbuchverlag 1990.
- Breier, N.: Informatische Bildung als Teil der Allgemeinbildung. In.: LOG IN 13: 5/6 1994, S. 90.
- Booch, G.; Rumbaugh, J.; Jacobson, I.: The Unified Modelling Language User Guide, Addison Wesley, 1999.
- Crutzen, C.K.M.; Hein, H.-W.: Objektorientiertes Denken als didaktische Basis der Informatik. In: Schubert, S.: Innovative Konzepte für die Ausbildung. Berlin: Springer, S. 149-158
- Dutke, S.: Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens. Göttingen: Verlag für angewandte Psychologie 1994.
- Foegen, M.: Entwurf eines didaktischen Konzepts der Informatik, Diplomarbeit, TU Darmstadt 1996.
- Frey, G.: Symbolische und ikonische Modelle. In: Freudenthal, H.: The concept and the role of the model in mathematics and natural and social sciences. Dordrecht-Holland: D. Reidel Publishing Company 1961, S. 89-97.
- Friedrich, S.; Neupert, H.: Lernen mit Netzen - Lernen über Netze. LOG IN 17: 6 1997, S. 18-23.
- Hubwieser, P.: Didaktik der Informatik - Grundlagen, Konzepte, Beispiele. Berlin: Springer Verlag 2000.
- Magenheim, J.; Hampel, T.; Schulte, C.: Dekonstruktion von Informatiksystemen als Unterrichtsmethode. In: Schwill, A. (Hrsg.): Informatik und Schule - Fachspezifische und fachübergreifende didaktische Konzepte. Berlin: Springer-Verlag 1999, S. 149-164
- Richtlinien und Lehrpläne für das Gymnasium - Sekundarstufe I - in Nordrhein-Westfalen - Informatik, Heft 3424, Frechen: Verlagsgesellschaft Ritterbach GmbH 1993.
- Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II - Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen - Informatik. Heft 4725, Frechen: Verlagsgesellschaft Ritterbach GmbH 1999.

- Schaefer, G.: Lebewesen und Modell. In: Trommer, G.: Denken in Modellen. Braunschweig: Westermann 1977, S. 86-101.
- Schubert, S.: Skriptum zur Vorlesung Didaktik der Informatik (Sekundarstufe II).  
<http://ddi.cs.uni-dortmund.de/lehre/grundstudium/skript.html>. Januar 2000.
- Schülerduden Informatik. 3. Aufl., Mannheim: Dudenverlag 1997.
- Schwill, A.: Fundamentale Ideen in Mathematik und Informatik. In: Hischer, H. (Hrsg.): Fundamentale Ideen. Bericht über die 12. Tagung des Arbeitskreises Mathematikunterricht und Informatik. Hildesheim: Franzbecker 1994, S. 18-25.
- Stachowiak, H.: Allgemeine Modelltheorie, Wien: Springer 1973.
- Steinbuch, K.: Denken in Modellen. In: Trommer, G.: Denken in Modellen. Braunschweig: Westermann 1977, S.10-17
- Tarski, A.: Zitat in Suppes, P.: A comparison of the meaning and uses of models in mathematics and the empirical sciences. In: Freudenthal, H.: The concept and the role of the model in mathematics and natural and social sciences. Dordrecht-Holland: D. Reidel Publishing Company 1961, S. 163.
- Thomas, M.: Modellbildung im Schulfach Informatik. In: Hischer, H. (Hrsg.): Modellbildung, Computer und Mathematikunterricht. Bericht über die 16. Tagung des Arbeitskreises Mathematikunterricht und Informatik. Hildesheim: Franzbecker 2000, S. 39-46.
- Wedekind, H., Görz, G., Kötter, R., Inhetveen, R.: Modellierung, Simulation, Visualisierung: Zu aktuellen Aufgaben der Informatik. In: Informatik Spektrum Heft 21, Springer Verlag 1998, S. 262-272.

Abb. 2

