

Modelle der Informatik für einen Informatikunterricht

Marco Thomas

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

Zusammenfassung:

Die Bedeutung einer Informatischen Modellbildung für den Schulunterricht wird von Informatikdidaktikern 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.

Abstract:

It is often claimed that informatic modeling should play an important role in informatics lessons. However, the notion of a model is used in a divers manner in computer science. We systematically describe and classify these different notions using the formal theory of general modeling introduced by Herbert Stachowiak in 1973 and show that all the varied types of models are used in computer science. It also substantiates that informatics lessons emphasizing modeling may contribute to the general education of students.

Einleitung

Ende der 60iger Jahre wurde in Deutschland erstmals der Aufbau von Informatik-Studiengängen vorbereitet, womit die Informatik als Fachwissenschaft ihren Einzug in die deutsche Bildungslandschaft feierte. Ausgangspunkt ist zunächst die Erkenntnis gewesen, dass Informationstechnik, als Produkt der Informatik, unsere Gesellschaft massiv verändert.

Die Kulturhoheit liegt im föderalen System der Bundesrepublik bei den einzelnen Bundesländern. Die Einrichtung und Gestaltung neuer Studiengänge fällt daher ebenso in den Aufgabenbereich der – meist finanziell schwachen Bundesländer¹ – wie die Integration neuer Unterrichtsfächer in den Fächerkanon der allgemeinbildenden Schulen. Insofern ist es bemerkenswert, dass nahezu zeitgleich zur Einrichtung der Informatik als Wissenschaft an den Hochschulen ein entsprechendes Unterrichtsfach an den allgemeinbildenden Schulen Einzug hielt. Offensichtlich wurde der starke Einfluss dieser Wissenschaft und ihrer Produkte auf unsere Wirtschaft und Gesellschaft erkannt.

Die Bezeichnung „Informatik“ für die deutschen Studiengänge leitet sich von dem französischen Kunstwort „informatique“ ab, das aus den Worten „Information“ und „Automation“ abgeleitet ist². Die Académie Française definierte 1967:

*L'informatique: "Science de traitement rationel, notamment par machines automatiques, de l'information considérée comme le support des connaissances humaine et des communications, dans les domaines techniques, économiques et sociale."*³ (aus Coy (2001), S. 4)

Allerdings orientierten sich die Inhalte der westdeutschen und europäischen Informatik⁴ vorwiegend an den amerikanischen Studiengängen „Computer Science“ und „Computer Engineering“, die eher durch die Definition der ACM beschrieben werden:

¹ Aufgrund der Finanznöte der Bundesländer ergriff der damalige Bundesforschungsminister Gerhard Stoltenberg die Initiative und ließ bundesweite Datenverarbeitungs-Förderprogramme auflegen, die den Aufbau von Informatik-Studiengängen vorbereitete.

² Der Ausdruck geht nach Auskunft französischer Lexika auf Philippe Dreyfuss (1962) zurück, wobei Karl Steinbuch der Firma SEL bereits 1957 den Namen „Informatik-Werk“ für eine Produktionsstätte vorgeschlagen hat.

³ Übersetzung: *Informatik: "Wissenschaft von der systematischen Verarbeitung von Information, insbesondere mittels automatisch arbeitender Maschinen zur Unterstützung der menschlichen Wissens und Kommunikation in den Bereichen Technik, Wirtschaft und Gesellschaft."*

⁴ Eine Ausnahme ist England, wo „Informatics“ mit „Information Science“ verknüpft wird.

"the discipline of computing is the systematic study of algorithmic processes that describe and transform information; their theory, analysis, design, efficiency, implementation, and application. The fundamental question underlying all of computing is: 'What can be (efficiently) automated'." (Denning (1989), S. 19)

In den Ansätzen für ein deutsches Schulcurriculum finden sich – in Anlehnung an das deutsche Verständnis zur Wissenschaft Informatik – zunächst rechnerorientierte Konzepte, die das Ziel verfolgen, die Funktionsweise der faszinierenden und gleichzeitig erschreckenden Grossrechneranlagen transparent zu machen. Als problematisch hinsichtlich einer Allgemeinbildung hat sich die Kurzlebigkeit dieses Wissens herausgestellt. Langfristig gültige Inhalte sollten Anfang der 70iger Jahre mit einem algorithmenorientierten Konzept vermittelt werden. Dieser Ansatz führte in den Schulen jedoch meist zu Programmiersprachenkursen, so dass von einer Allgemeinbildung nur sehr bedingt gesprochen werden konnte. Mit stärker anwendungsorientierten Ansätzen rückten die Begriffe des informatischen "Modells", des "Modellierens" und der "Modellbildung" in den Vordergrund, wobei je nach Autor unterschiedliche Begriffe und Begriffsverständnisse zu finden sind. Bei der Implementierung dieser Ansätze in den Lehrplänen der einzelnen Bundesländer wurde häufig versucht, das jeweilige Verständnis von "Informatischer Modellbildung" zu verankern. Die Auswahl und Anordnung der zu vermittelnden Modelle und Modellbildungstechniken in den Curricula orientiert sich zwar 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 entgegenkommen.

Der fehlende Konsens zu den Modellbegriffen der Informatik und der unzureichend begründete Stellenwert einer Auseinandersetzung mit informatischen Modellen sind vermutlich eine Ursache dafür, dass die unterrichtliche Umsetzung der anwendungsorientierten Ansätze meist bei der Algorithmik stecken blieb.

Um die Bedeutung von informatischen Modellen für die allgemeinbildende Schule herauszuarbeiten, gilt es zunächst, das Begriffsverständnis zum "Modell" innerhalb der Fachwissenschaft zu klären.

⇒ *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?*

Über Antworten zu diesen drei Fragen versuchen wir den Charakter und den Stellenwert einer "Informatischen Modellbildung" für einen Informatikunterricht zu klären. Die Fragen können in dem vorliegenden Beitrag 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 zum einen keine sinnvolle Anwendung einer Modellbildungstechnik ohne Vorstellung über das intendierte Modell erfolgen kann und zum anderen für Modelle geeigneter Kriterien zu ihrer Bestimmung und Unterscheidung existieren als für Modellbildungstechniken.

Informatische Modellbildung – ein Begriff mit vielen Inhalten

Zu den Aufgaben der Fachdidaktik Informatik gehört die Mitwirkung an der Definition grundlegender Ziele und Inhalte des Informatikunterrichts für die allgemeinbildenden Schulen. Als ein erster fachdidaktischer Ansatz zur Behandlung von problemlösenden Modellbildungsmethoden im Informatikunterricht wird die von Brauer und Brauer 1973 geforderte Abkehr von dem (damaligen) hardware- und programmiersprachenorientierten Unterricht, hin zur Vermittlung von Methoden der Strukturierung, Mathematisierung und Algorithmisierung von Problemen gewertet (Hubwieser (2000), S. 68).

In der Zeit der sogenannten "Krise" des deutschen Informatikunterrichts (Peschke (1989)) haben Koerber und Peters einen anwendungsorientierten Ansatz vertreten, der ein Modell als eine vereinfachte Darstellung von Zusammenhängen eines Realitätsausschnittes versteht. Dieses Modell geht einer computerunterstützten Bearbeitung eines Problems voraus!

"Zur adäquaten Nutzung informationstechnischer Werkzeuge ist es notwendig, stets die Reduktion der Realität durch Modellbildung und Abstraktion zu verdeutlichen. Denn jeder, der Informationstechnik anwendet, muß wissen, daß er sich mit einer Modellwelt auseinandersetzt, bzw. seine Realität durch andere Menschen modelliert worden ist. Gleichzeitig muß diese Erkenntnis auch dazu führen, daß die Modellwelt, mit der sich Anwender, Nutzer und Konstrukteure auseinandersetzen, niemals zur neuen Realität wird." (Koerber (1993), S. 111).

Für den Informatikunterricht entwickelten die Autoren ein am klassischen Vorgehensmodell der Softwareentwicklung ("Wasserfallmodell") orientiertes Unterrichtsverfahren, das die Erstellung eines deskriptiven Entwurfsmodells zu einem Problem betont. Datenstrukturen, Datenobjekte und Algorithmen repräsentieren "modellhaft" die Wirklichkeit und gehen einer Kodierung voraus.

In einem der wenigen deutschen Bücher zur "Didaktik der Informatik" benennt Baumann (1996, S. 153ff) vier Grundkategorien der Informatik: Information, System, Modell, Programm. Baumann betont, dass jeder dieser Begriffe auch außerhalb der Informatik verwendet wird, und erläutert den Modellbegriff wie folgt:

Das Modell ist (für Informatiker) eine vereinfachte struktur- und verhaltenstreue Beschreibung eines realen Systems.

Zum Modellbegriff unterscheidet Baumann verschiedene allgemeine Modelltypen, konkretisiert diese allerdings für die Informatik oder für den Informatikunterricht nicht. Auf mentale Modelle, als gedankliche Repräsentationen von Ideen und Vorstellungen, und die Modellmethode geht der Autor interessanterweise nur in der ersten Auflage seines Buches (1990, S. 163ff) ein. Zu dem Begriff Simulation, der häufig im Zusammenhang mit einer Modellbildung genannt wird, zitiert Baumann die VDI⁵-Richtlinie 3633

"Simulation ist das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind."

und kritisiert die VDI-Definition insofern, dass die Simulation eigentlich die Nachbildung des Verhaltens eines modellierten Systems sei, während die Nachbildung des Systems als Modellierung zu bezeichnen ist. Eine Computersimulation liegt dann vor, wenn das zugrundeliegende Modell die Gestalt eines Computerprogramms hat. Obwohl Baumann im Kontext von prädikatenlogischen Sprachen – zumindest in der ersten Auflage – von dem mathematischen Modell im Sinne einer "algebraischen Erfüllungsmenge" spricht (1990, S. 158), listet er dieses in der späteren Ausgabe nicht mehr als Modelltyp auf.

Die fundamentalen Masterideen der Informatik „Algorithmisierung“, „strukturierte Zerlegung“ und „Sprache“ stützen nach Schwill (1994, S. 21) die häufig betonte, aber selten reflektierte Bedeutung einer informatischen Modellierung und ihrer Methoden.

"Mit der strukturierten Zerlegung sind die Ideen verbunden, mit deren Hilfe man ein reales System analysiert und die modellrelevanten Eigenschaften ableitet.

Das Modell wird anschließend auf der Basis einer Beschreibungssprache präzisiert und öffnet sich so weiteren syntaktischen und vor allem semantischen Analysen und Transformationen.

Der dynamische Aspekt von Modellen, die Möglichkeit, sie zu simulieren, wird durch die Algorithmisierung erfaßt. Die zugehörigen Ideen dienen dem Entwurf und dem Ablauf von Simulationsprogrammen im weitesten Sinne."

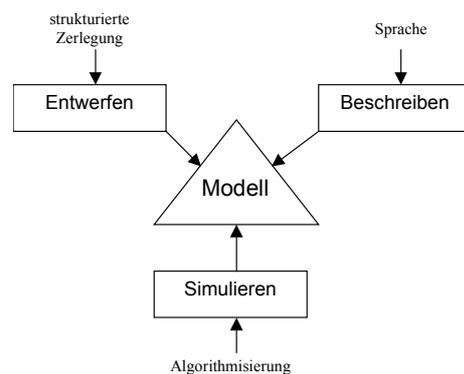


Abb. 1 nach Schwill (1994)

Nach Schwill modelliert die Informatik "meist Sachverhalte, die einer vom Menschen geschaffenen Welt entstammen (Bürovorgänge, Fahrzeugströme an Kreuzungen, Bibliothekssysteme)." (ebd., S. 23). Ikonische (bildhafte) und symbolische (zeichenartige) Modelle (vgl. Frey 1961) werden in Zwischenschritten genutzt, um

⁵ Verein deutscher Ingenieure

sogenannte "enaktive" Modelle zu erstellen, die eine künstliche Wirklichkeit darstellen können, die vom Menschen kognitiv ähnlich erfasst wird, wie die "reale" Welt.

Für Peter Hubwieser (2000, S. 69) ist der Prozess der Modellbildung und Simulation nicht nur ein Lerninhalt, sondern ein durchgängiges Prinzip der Unterrichtsgestaltung. Im Rahmen eines informationszentrierten Ansatzes propagiert und begründet Hubwieser für die Sekundarstufe I und die Klasse 11 eine systematische und problemorientierte Einführung in – auf Schülerniveau reduzierte – Modellierungstechniken der UML und ergänzt seine Ausführungen durch ausführliche Unterrichtsbeispiele. Dieses Konzept wird derzeit für ein bayerisches Informatik-Curriculum erprobt.

Unter Auslassung zahlreicher fachdidaktischer Ansätze, die informatische Modellbegriffe beinhalten, sei an dieser Stelle noch auf die Empfehlungen der Gesellschaft für Informatik e.V. von 1993 (Schulz-Zander (1993)) hingewiesen, die für die Sekundarstufe II die Förderung schöpferischen Denkens durch *"Erfahrungen mit einer Vielzahl kreativer Gestaltungsmöglichkeiten (z.B. Modellbildung, sprachliche und graphische Gestaltung) mit Hilfe des Computers"* betonen. Die Verwendung von Modellierungstechniken zur Lösung eines Problems, die Fähigkeit zur Einsichtnahme in die Grenzen eines Modells, Überblick zur Darstellungen der Softwaremodellierung und Automatenmodelle werden als Inhalte gefordert. Auch die für eine informatische Bildung genannten Leitlinien stellen das Arbeiten mit Modellen als langfristig gültiges Allgemeingut für einen Informatikunterricht heraus.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass in der Fachdidaktik der Informatik zahlreiche Modelle und Modellierungstechniken für den Informatikunterricht herausgestellt werden. Es besteht jedoch keine Einigkeit, was unter informatischer Modellbildung zu verstehen ist, es werden selten konkrete informatische Modelle allgemeindidaktisch begründet und es fehlt eine übergreifende Systematik zu den informatischen Modellen. Es bleibt der Eindruck, dass die Modelle und das Modellieren der Fachwissenschaft in den einzelnen didaktischen Ansätzen nur unzureichend, teilweise sogar einseitig, erfasst wird.

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 Original⁶ für einen bestimmten Zweck konstruiert und eingesetzt werden. Dieser Prozess wird mit Modellbildung bezeichnet (Abb. 2).

Ein Modell ist immer auch als System⁷ auffassbar. Ein System (z.B. das natürliche Ökosystem) ist jedoch nicht zwingend ein Modell. Merkmale, Eigenschaften und Relationen von Systemkomponenten bezeichnen wir als Attribute.

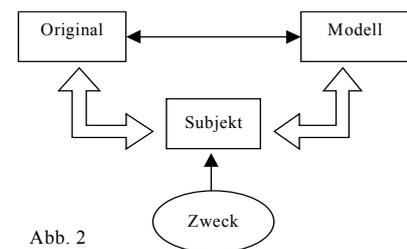


Abb. 2

⁶ 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. Insbesondere, 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.

⁷ 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.

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: Im Jahre 1946 beschrieb John von Neumann ein technisches Idealmodell für einen Rechner, der Daten und Programme in einem gemeinsamen Speicher hält. Unter Vernachlässigung technischer Details (Präterition) skizzierte er den logischen und räumlichen Aufbau (Kontrastierung) eines Rechenautomaten entsprechend seinen gedanklichen Überlegungen, indem er für die Kommunikation notwendige schriftsprachliche Konstrukte hinzufügte (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.

Beispiel: Im Von-Neumann-Modell wird deutlich, dass ein paralleler Datenaustausch zwischen Leit- und Rechenwerk und dem Speicher 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 (λ -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 Angleichung⁸ bezieht sich auf Attribute, die materiell-energetische und raum-zeitliche 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, raum-zeitliche 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 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 Entwicklungsprozesses, zum Festhalten von Entwürfen und als Kommunikationsgrundlage verwendet. Die Vorgehensmodelle selbst, die diesen Darstellungen zugrunde liegen, basieren auf vom Subjekt wahrgenommenen und "erdachten" Aktivitäten (interne semantische Modelle). 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 werden⁹.

Mit der Unified Modelling Language UML intendieren Booch, Rumbaugh und Jacobson (1998) eine Vereinheitlichung der verbreitetsten Entwurfsmethoden 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 computerunterstützten Veranschaulichungsmodellen für (informatische) Modelle anderer Typen ist eine wichtige Aufgabe der

⁸ 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.

⁹ Und sollten im Informatikunterricht stärker berücksichtigt werden, um eine vergleichende Betrachtung unterschiedlicher Modelle und Vorgehensweisen durchführen zu können.

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. Die Bedeutung von Graphen, beispielsweise 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 Modelle¹⁰ 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.

¹⁰ 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.

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.

- 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 Kognition. 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 finden 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. (1999)). 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 Kognitiven Modellen zugeordnet werden; ebenso der "abstrakte Automat" als zusammenfassendes Denkmodell für kybernetische Modelle (Steinbuch (1977)), und die schon erwähnten Vorgehensmodelle in der Softwareentwicklung.
- 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 könnte 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 Modell 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 \approx Signalempfang) und Kognitive Modelle (Denken \approx 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 der Mathematik (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 ergänzen 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 3 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, die "alle" allgemeinen Modelltypen exemplarisch umfassen sollen, ihr Einsatz und insbesondere ihre Konstruktion könnten somit 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 Software-Engineering verwendet werden, decken eine breite Palette informatischer Modelle ab, stellen jedoch nur einen Ausschnitt informatischer Modellbildung dar. Im Informatikunterricht sollten daher Modelle aller Teilgebiete der Informatik behandelt werden; fachübergreifend, didaktisch reduziert und schülerorientiert.

Eine inhaltliche Ausrichtung der Curricula an den Modellen der Informatik könnte zu einem allgemeinbildenden und das Wesen der Informatik umfassenden Informatikunterricht führen. Als Strukturierungshilfe für einen derartigen modellorientierten Informatikunterricht wäre ein Schema basierend auf Abbildung 3 denkbar.

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 konkreten 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.
- Coy, W.: Was ist Informatik? Zur Entstehung des Faches an den deutschen Universtitäten. Aus: Desel, Jörg. (Hrsg.): Das ist Informatik. Berlin, Heidelberg, New York u.a. (Springer Verlag) 2001. S. 1-22.
- 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
- Denning, J.; Comer, D.E.;Tucker, A. et al.: Computing as a Discipline. Communications of the ACM. Jg. 1989, H. 32, S. 9-23.
- 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.
- Koerber, B; Peter, I.-R.: Informatikunterricht und informationstechnische Grundbildung - ausgrenzen, abgrenzen oder integrieren? Aus: Troitzsch, Klaus G.: Informatik als Schlüssel zur Qualifikation. GI-Fachtagung "Informatik und Schule". Berlin, Heidelberg u.a (Springer) 1993. (=Informatik aktuell) S. 108-115.
- 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
- Peschke, R.: Die Krise des Informatikunterrichts in den neunziger Jahren. Aus: Stetter, F.; Brauer, W. (Hrsg.): Zukunftsperspektiven der Informatik für Schule und Ausbildung - GI-Fachtagung "Informatik und Schule". 1989 Berlin, Heidelberg u.a. (Springer) 1989. (=Informatik-Fachberichte. Bd. 220) S. 89-98.
- 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 2000 (Sekundarstufe II). Als Manuskript erschienen.
- Schülerduden Informatik. 3. Aufl., Mannheim: Dudenverlag 1997.
- Schulz-Zander, R.: Veränderte Sichtweisen für den Informatikunterricht. GI-Empfehlungen für das Fach Informatik in der SII. Aus: Aus: Troitzsch, Klaus G.: Informatik als Schlüssel zur Qualifikation. GI-Fachtagung "Informatik und Schule". Berlin, Heidelberg u.a (Springer) 1993. (=Informatik aktuell) S. 205-218.
- 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. 3

