

# Modellierung und Ontologie

*F. Steimann und W. Nejdl*  
*Institut für Rechnergestützte Wissensverarbeitung*  
*Universität Hannover, Lange Laube 3, D-30159 Hannover*  
*{steimann, nejdl}@kbs.uni-hannover.de*

Modelle helfen, Probleme zu lösen, indem sie es erlauben, die Ausschnitte der Realität, aus denen die Probleme stammen, zu simulieren. Um ein Modell der Realität zu erstellen, benötigt man zweierlei: 1.) die Kenntnis der (wissenschaftlichen) Disziplin, die sich mit der Natur des jeweiligen Problems befaßt, die also die Konstituenten des Problems, ihre Eigenschaften und die Gesetzmäßigkeiten untersucht und aufzeigt, und 2.) eine allgemeine Vorstellung davon, wie sich die Realität zusammensetzt, was also überhaupt ist oder sein kann und wie man dies darstellt. Letzteres, in der Regel als gegeben angenommen und kaum als Problem für sich empfunden, ist Gegenstand der Ontologie. Unser Beitrag interpretiert die Ontologie als Grundlage der Modellierung, und zwar zum einen, weil sie die Basis für die Findung der Modellierungskonzepte bilden kann, zum anderen, weil wir mit Hilfe solcher ontologischen Modelle Ausschnitte der Realität erfassen (bzw. es zumindest versuchen).

## 1 Einleitung

Was ist ein Modell? Je nachdem, wen man fragt, wird die Antwort sehr unterschiedlich ausfallen. Selbst wenn wir die Befragten auf den Kreis derer einschränken, die sich für dieses Sonderheft interessieren oder gar dazu beitragen, werden wir noch recht verschiedene Antworten bekommen: eine logische Beschreibung der Komponenten und Funktionen eines technischen Systems, eine Konzeptualisierung eines gegebenen Ausschnitts der realen Welt, der ein Datenverarbeitungsproblem darstellt, oder eine Menge von mathematischen Gleichungen, die einen natürlichen, technischen oder sozialen, vor allem aber zeit- und wertkontinuierlichen Zusammenhang möglichst genau beschreiben.

All diesen Auffassungen von Modellen, so unterschiedlich sie sein mögen, sind zwei Dinge gemeinsam:

1. Es handelt sich um Vereinfachungen, um Abstraktionen der Realität.
2. Es handelt sich um die Übertragung von Wissen in ein Medium, das mechanische Simulation (von Leibniz auch als "blindes Denken" bezeichnet) erlaubt.

Dabei verlangt die Modellierung stets, daß man das, was man modelliert, explizit macht. Zu einem Modell gehören also

- die Bestimmung der Dinge (physikalischen Größen, soziale Faktoren oder die Objekte und deren mögliche Zustände), die in das Modell eingehen, sowie
- die Zusammenhänge zwischen diesen Dingen (physikalischen Gesetze, soziale Bindungen und Abhängigkeiten oder die Beziehungen, in denen Objekte zueinander stehen).

Wozu braucht man Modelle? Eine Grundannahme der KI ist, daß unser Wissen in Form von mentalen Modellen vorliegt [Sowa 1984], daß wir diese mentalen Modelle verwenden, um uns in unserer Umwelt zurechtzufinden, sie zu verstehen und zu beherrschen, und daß wir eben diese Modelle explizieren wollen, um sie auf einen Rechner zu übertragen, damit er uns, durch blindes Denken, beim Zurechtfinden, Verstehen und Beherrschen hilft. Um unser Wissen zu explizieren und zu übertragen, gebrauchen wir als Ausdrucksmittel eine Sprache, in der formuliert aus einem mentalen Modell ein Modell wird, ein Formalismus also, in dem außerhalb unseres Kopfes das vollbracht werden kann, was normalerweise innerhalb dessel-

ben abläuft, egal ob "zu Fuß" auf einem Blatt Papier oder automatisch durch eine Maschine. Mit den Grundlagen dieser Explikation beschäftigt sich die Ontologie.

## 2 Ontologie als Disziplin

Was aber ist Ontologie? Zuerst aufgekommen im Mittelalter, steht der Begriff heute ungefähr für das, was bei Aristoteles noch *Metaphysik*<sup>1</sup> hieß. Ontologie ist die Lehre vom Seienden, oder, besser, von dem, was ist und was nicht ist. Im Gegensatz dazu handeln die faktischen, die Natur- und Sozialwissenschaften davon, *wie* etwas ist.

Die Antwort auf die Frage nach dem, was ist, scheint auf den ersten Blick trivial: die Dinge um uns herum und in uns, die wir erkennen und begreifen können, kurz das, dem wir einen Namen geben können. Doch reicht schon der Blickwinkel der Modellierung, um zu erkennen, daß sich dahinter grundlegende Probleme verbergen. Zwar können (und werden) wir im Kontext der Modellierung pragmatisch vorgehen und festlegen, daß genau die Dinge sind, die etwas mit dem modellierten Problem zu tun haben. Doch auch wenn die Identifikation dieser Dinge mehr mit dem Verständnis der Materie an sich als mit Ontologie zu tun hat, bleibt immer noch die Frage, wie wir diese Dinge auffassen und darstellen. Repräsentieren wir beispielsweise eine physikalische Größe wie Spannung in unserem Modell als Objekt oder als Eigenschaft? Sind die 5 V, die am Ausgang eines Gatters liegen, eine Sache wie das Gatter selbst?

Mit genau diesen Fragen beschäftigt sich die Ontologie. Dabei ist die Ontologie (nach Bunge [1977]) neben den Natur- und Sozialwissenschaften die einzige Wissenschaft, die sich mit den konkreten Dingen, der konkreten Realität auseinandersetzt. „Ein Ontologiker sollte die Konzepte erkennen, analysieren und ins Verhältnis setzen, die es ihm erlauben, ein einheitliches Bild der Realität zu erstellen.“ [Bunge 1977, S. 5] Dabei gibt es, so Bunge, keine klare Grenze zwischen Ontologie und den faktischen Wissenschaften; die Ontologie hat die Grundannahmen der faktischen Wissenschaften, die sich nicht durch Experimente be- oder widerlegen lassen, zum Gegenstand. Sie fällt damit in den Bereich der Philosophie, ohne jedoch auf den Anspruch von Exaktheit zu verzichten.

Eine exakte, formale Ontologie bedient sich der Logik oder der Mathematik als Ausdrucksmittel. Sie wird also logisch oder mathematisch formuliert, wohingegen Logik und Mathematik selbst frei von ontologischen Aspekten sind. Dabei steht die Ontologie stets eine Stufe höher als die Modelle, die auf ihr basieren. Wenn man beispielsweise die Ontologie in Logik formulieren will, dann benötigt man mindestens eine Prädikatenlogik zweiter Stufe, denn Gegenstand der Ontologie sind ja Aussagen wie „jedes Objekt hat Eigenschaften“ oder „die Eigenschaften eines Objektes stehen miteinander über Gesetzmäßigkeiten in Beziehung“ ([Bunge 1977]; vgl. aber auch [Russel & Norvig 1995], wonach die Ontologie in Prädikatenlogik erster Stufe ausgedrückt wird). Ein Beispiel dazu folgt in Abschnitt 3.1.

Häufig wird die Ontologie mit einer Klassifikationsordnung, einer Taxonomie gleichgesetzt. Vielmehr beschäftigt sich die Ontologie aber mit der Beschaffenheit der Welt an sich, also mit (der Adäquatheit von) Konzepten wie

- Individuum oder Objekt,
- Zusammensetzung,
- Eigenschaft,

---

<sup>1</sup> Nach Aristoteles ist *Metaphysik* die Wissenschaft vom Sein an sich; der Name rührt eigentlich daher, daß Aristoteles' Werk zu diesem Thema nach dem über die Physik herausgegeben wurde, paßt aber auch inhaltlich gut.

- Beziehung,
- Zeit und Raum,
- Gesetzmäßigkeit,
- Zustand,
- Ereignis,
- Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit,
- Prozeß

etc. sowie deren Verhältnis zueinander ([Bunge 1977]; vgl. aber auch [Chandrasekaran et al. 1999; Rusell & Norvig 1995]).

Ansätze, Ontologie konkret zu machen, also zu sagen, welche (Arten von) Individuen es gibt, welche Eigenschaften sie haben und auf welche Art (durch welche Gesetzmäßigkeiten) sie zusammenhängen, gibt es zahlreiche (siehe [Chandrasekaran et al. 1999; Russel & Norvig 1995; Sowa 1984]; mehr dazu folgt in Abschnitt 3.2). Sie sind jedoch unweigerlich nicht nur Ausdruck von Ontologie, sondern auch des jeweiligen Problems (und sei es ein ganz allgemeines); sie fallen damit in das Gebiet der natur- oder sozialwissenschaftlichen Disziplin, die sich damit befaßt.

### 3 Ontologie als Basis der Modellierung

Zurück zur Modellierung: Eine Modell ist eine formale Repräsentation eines Ausschnitts der Realität. Die formale Repräsentation verlangt, daß so etwas wie eine Grammatik vorliegt, aus deren Konstituenten und nach deren Regeln sich die Modelle zusammensetzen. Der Ontologie kommen dabei nach heutiger Auffassung zwei Rollen zu:

1. die Grundlegung, welcher Art die Konstituenten und die Regeln sein müssen, damit sie die Realität angemessen wiedergeben können, also in etwa das, was man eine „Grammatik der Realität“ nennen könnte (*Ontologie im ersten Sinn*), und
2. die Festschreibung der Dinge und Zusammenhänge, die da sind, also gewissermaßen die Erstellung einer „Enzyklopädie der Realität“ (*Ontologie im zweiten Sinn*).

Diese beiden Rollen werden im folgenden anhand von Beispielen vertieft.

#### 3.1 Ontologie als Metamodell

Das, was wir unter konzeptueller Modellierung verstehen, beruht wesentlich auf Annahmen, die nur selten als zur Disposition stehend erachtet werden. Dabei ist längst nicht alles, was selbstverständlich scheint, fest vorgegeben. Soll man beispielsweise zwischen Objekten, Eigenschaften und Relationen unterscheiden, oder läßt sich das eine durch das andere abdecken? So kann man Eigenschaften als spezielle (ein- oder zweistellige) Relationen auffassen und schließlich Relationen als Objekte, was auch hier und da getan wird. Ist also alles und jedes ein Objekt, oder verliert man durch diese vereinheitlichende Sichtweise zu viel Struktur, die hinterher teuer zurückgekauft werden muß? Unterteile ich meine Objekte in Klassen (die, da sie Konzepte sind, keine Entsprechung in der Realität haben, dafür aber eine gemeinsame Spezifikation gleichartiger Individuum erlauben), oder betrachte ich Äquivalenz oder Ähnlichkeit als eine (von vielen) Beziehungen zwischen Objekten? Und nicht zuletzt: Definiere ich Vererbung auf Klassen- oder auf Objektebene [Sciore 1989]?

Zwar werden diese Fragen, die durchweg ontologischer Art sind, in der Regel pragmatisch entschieden, doch können sich, bei mangelnder Umsicht, Nachteile ergeben, die durch den Modellierungsprozeß selbst kaum oder gar nicht wieder wettgemacht werden können. Nimmt

man beispielsweise als ontologische Basis das Entity-Relationship-Modell ohne Generalisierung/Spezialisierung und möchte dann, weil es das Problem verlangt, so etwas wie Vererbung modellieren, ist man als Modellierer versucht, einfach eine spezielle Relationen, *eine-Art-von*, einzuführen, mit der Bedeutung, daß sich alle Eigenschaften (Attribute und Relationen) entlang dieser Relation übertragen, eben vererben. Da aber *eine-Art-von* in diesem Fall selbst eine Relation (auf einer Stufe mit den anderen) ist, muß sie sich auch selbst vererben, was immer dann zu einem Widerspruch führt, wenn zwei oder mehr Entitätstypen *eine-Art-von* eines anderen sind (also etwa *b eine-Art-von a*, *c eine-Art-von a*, so daß auch *b eine-Art-von c* und *c eine-Art-von b* folgt). Statt dessen sollte mit dem Entity-Relationship-Modell (als Ontologie) nicht nur die Tatsache, daß es Entitätstypen gibt, sondern auch das Vorliegen einer Halbordnung unter den Typen (spezifiziert durch eine Relation zweiter Ordnung; vgl. oben) festgeschrieben sein, die besagt, daß alle Entitäten eines kleineren Typs in den größeren enthalten sind und somit alles, was für die Entitäten eines größeren Typs gilt, auch für die kleineren gelten muß.<sup>2</sup>

Die Ontologie im ersten Sinn nimmt für die konzeptuelle Modellierung in etwa die Rolle eines Metamodells ein (vgl. etwa das Information Resource Dictionary System Framework der ISO [ISO 1990]). Doch auch die Bestimmung eines Metamodells befreit uns nicht von der Frage, welche die Modellierungskonzepte sind und welche nicht. Vielmehr bedarf gerade die Erstellung eines Metamodells einer eingehenden ontologischen Untersuchung im klassischen Sinn.

Auf der anderen Seite ist die Metamodellierung per se nicht äquivalent mit der Definition einer Ontologie. Wie z.B. in [Jeusfeld et al. 1998] dargestellt, kann ein Metamodell zwar einerseits eine allgemeine Modellierungssprache beschreiben (z.B. das Entity-Relationship-Modell), andererseits aber auch domänenspezifische Konzepte wie Angestellte, Aktionen, Informationen, etc., die dann erst auf einer Meta-Metamodellierungsebene zu Agenten, Aktivitäten, Medien und Daten abstrahiert werden.

Spezifische Ontologien (siehe nächster Abschnitt), die als Metamodelle verstanden werden sollen, werden oft als Representationsontologien bezeichnet, weil sie definieren, mit Hilfe welcher Konzepte konkretere Modelle/Ontologien beschrieben werden sollen. Typische Beispiele dafür sind die Frame-Ontologie in Ontolingua [Gruber 1993] oder die Metamodellierungsebene unseres Hyperbook-Systems [Fröhlich et al. 1997; Nejdil & Wolpers 1999]. In diesem wird die Metamodellierungsebene dazu genutzt, die Modellierungskonstrukte Konzept, Relation, Attribut und View zu definieren, ebenso wie Darstellungskonstrukte wie Index, Choice oder Trail.

---

<sup>2</sup> Ein anderes Versäumnis gängiger Ansätze zur konzeptuellen Modellierung, das sich auf mangelnde ontologische Untersuchungen zurückführen läßt, ist das Fehlen von Rollen als Modellierungskonzept [Chandrasekaran et al. 1999].

### 3.2 Ontologien als konzeptuelle Modelle

Eine über die Klärung der Grundfragen hinausgehende Aufgabe, die mit Ontologie verbunden wird, ist die Verfassung vorgefertigter Strukturierungen der Realität, also gewissermaßen die Erstellung von Katalogen von Objekten und Zusammenhängen, zu denen der Modellierer greifen und aus denen er sich das, was er braucht, herausnehmen kann [Swartout & Tate 1999]. Man spricht dann salopp von Ontologien im Plural<sup>3</sup>, wobei jede einzelne eigentlich nicht eine Ontologie, also eine allgemeine Lehre im obigen Sinne, sondern eine spezielle Festschreibung ist, nach der die Dinge eben genau so und so sind — oder vielmehr sein sollen.

Es dürfte nämlich inzwischen klar sein, daß es eine Universalontologie, die für alles passend ist, so schnell nicht geben wird, auch wenn es immer wieder Versuche gibt, solche „generischen Ontologien“ zu erstellen, siehe z.B. CYC (<http://www.cyc.com/>) und die HPKB-Upper-Level Ontology (einsehbar unter <http://www.ksl.stanford.edu/currentproj.html> über den Ontolingua Server), die Konzepte von semantisch-lexikalischen Ontologien aus natürlichsprachigen Systemen (SENSUS, [Knight & Luk 1994]) aufgreifen. Zu unterschiedlich sind im allgemeinen die Probleme und die Ansätze, mit denen die Probleme gelöst werden sollen. Nichtsdestotrotz ist es sinnvoll, für einzelne Spezialgebiete Ontologien zu etablieren, um einen einheitlichen Rahmen für die Arbeit (Modellierung) auf diesen Gebieten herzustellen. Beispiele hierfür sind:

- *Gesetzestexte.* Das Bürgerliche Gesetzbuch der Bundesrepublik Deutschland [BGB 1998] beispielsweise definiert in seinem Allgemeinen Teil einige Grundbegriffe und damit die Dinge, die für die nachfolgenden Gesetze als existent vorausgesetzt werden müssen. So wird dort u.a. zwischen Personen und Sachen unterschieden. Personen wiederum können natürliche oder juristische Personen sein, wobei letztere weiter in Vereine, Stiftungen und juristische Personen des öffentlichen Rechts unterteilt werden. Zu Sachen liest man „Sachen im Sinne des Gesetzes sind nur körperliche Gegenstände“ (§90 BGB) und weiter „Bestandteile einer Sache, die voneinander nicht getrennt werden können, ohne daß der eine oder der andere zerstört oder in seinem Wesen verändert wird (wesentliche Bestandteile), können nicht Gegenstand besonderer Rechte sein“ (§93 BGB). Diese Sätze tragen klar ontologische Züge; sie bilden zusammen mit den restlichen Paragraphen ein Modell für die (rechtmäßigen) Transaktionen im Anwendungsbereich des Gesetzes.
- *Fachterminologien und kontrollierte Vokabulare.* Die Kommunikation von Sachverständigen unterschiedlicher Regionen (Sprachräume) und Schulen verlangt es, daß sie sich auf ein einheitliches Begriffssystem einigen. Ein solches Begriffssystem, z.B. das Unified Medical Language System UMLS [Campbell et al. 1999], obwohl auf dem Gebiet der Terminologie angesiedelt, trägt in der Regel ebenfalls ontologische Züge. Für eine Gegenüberstellung von Ontologien und Terminologien siehe [Gamper et al. 1999], wo außerdem gezeigt wird, wie juristisches Vokabular strukturiert als Menge von Konzepten, Konzepthierarchien und Beziehungen dazwischen dargestellt werden kann.
- *Daten- und Entwurfsmuster für die Unternehmensmodellierung.* Die Analyse der Organisationsstrukturen und Abläufe von Unternehmen deckt immer wiederkehrende Muster auf. Anstatt jedes Problem von neuem zu modellieren, kann man hier auf Standardmodelle zurückgreifen [Hays 1996; Fowler 1998; Parsons & Wand 1997]. Fox & Gruninger [1998] diskutieren die Erstellung von Unternehmensontologien, die ein ge-

<sup>3</sup> salopp deswegen, weil einem ja auch nicht einfiel, von verschiedenen Biologien zu reden

meinsames, maschinenverarbeitbares Vokabular für die Beschreibung von Unternehmen bereitstellen sollen. Die TOVE-Ontologien beschreiben Unternehmenskonzepte auf verschiedenen Ebenen; auf der untersten Ebene befinden sich die Kernontologien für Produkte, Services, Aktivitäten, Organisationen und Ressourcen, darauf aufbauend abgeleitete Ontologien (z.B. Informationsressourcen, Ziele, Scheduling und Transport), und schließlich die eigentlichen Unternehmensontologien, die Konzepte aus den Bereichen Projekte, Unternehmen und Geschäftsprozesse beschreiben.

- *Integration von Anwendungssystemen.* Wieder ein anderer Anwendungsbereich ist die Integration von verteilte Informationssystemen. [Wiederhold & Genesereth 1991] diskutiert eine solche Anwendung bzw. die Nutzung von Mediatoren und Ontologien in einer Middleware-Architektur zur Vernetzung von Daten und Applikationen. Notwendig sind in diesem Kontext Domain-Ontologien (abgeleitet aus den entsprechenden Datenbankschemata), sowie Service- und Resource-Ontologien.
- *Offene Systeme.* Die Standardisierung offener Systeme und der Informationen, die zu deren Management benötigt werden, verlangt ebenfalls eine Grundlegung der Dinge, um die es geht. Mehr dazu im nächsten Abschnitt.

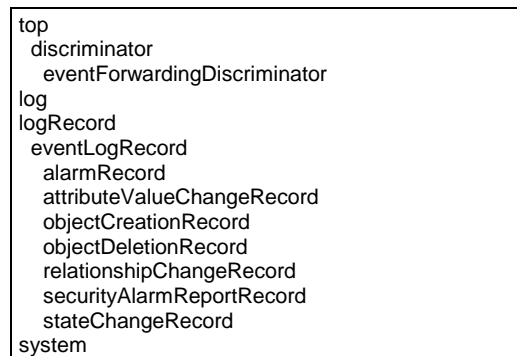
## 4 Ein Beispiel

Wir hatten im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms „Mobilkommunikation“ das Problem zu lösen, ein Basisstationssystem (Teilsystem eines GSM-Netzes, bestehend aus einem Basisstations-Controller und mehreren angeschlossenen Basisstationen, die die Teilnehmer versorgen) auf den Ausfall von Meldungskanälen zu überprüfen. Da solche Ausfälle im allgemeinen entweder auch zu einem Verlust von entsprechenden Fehlermeldungen oder aber zu einer wahren Fehlerflut führen, die beide nicht direkt auf den Fehler schließen lassen, bot sich an, das Problem mittels modellbasierter Diagnose zu lösen. [Steimann et al. 1999]

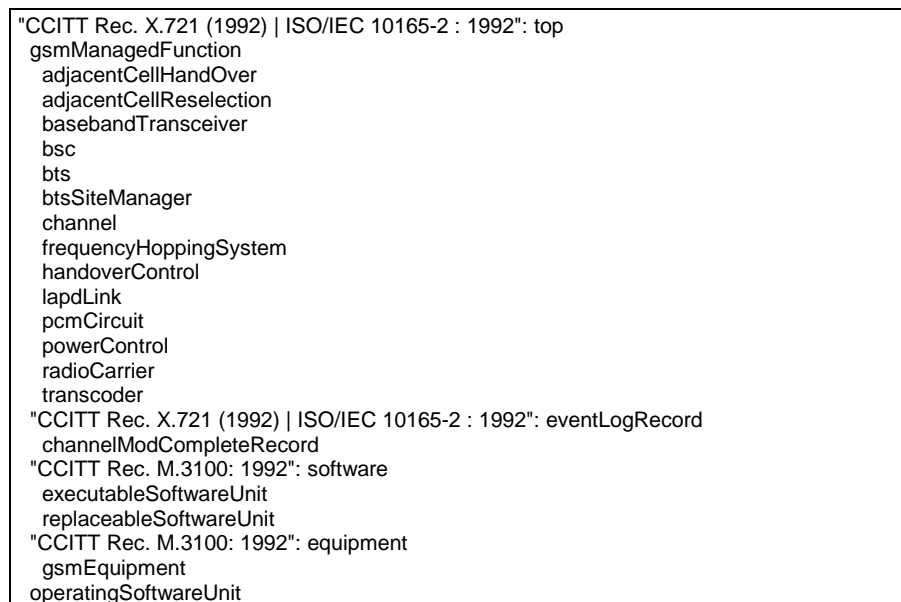
Nun sind aber Basisstationssysteme keine fest verdrahteten Systeme wie beispielsweise integrierte Schaltkreise, sondern werden laufend dynamisch neu konfiguriert. Die Rekonfiguration besteht in erster Linie aus dem Ab- und Zuschalten von Netzelementen sowie aus dem Herstellen bzw. Umleiten von Verbindungen zwischen diesen. Die Konfigurationsdaten sind in einer sogenannten Management Information Base abgelegt, auf die das Netzwerkmanagement zugreift. Form und Inhalt der Management Information Base sind durch die ISO-OSI- sowie durch entsprechende Telekommunikationsstandards [ISO 1989; ISO 1993; ISO 1992a; ISO 1992b; ITU 1995; ETSI 1996] teilweise vorgegeben; sie sind im wesentlichen objektorientiert. Damit soll sichergestellt werden, daß Netzelemente unterschiedlicher Hersteller und Generationen problemlos in einem Netzbetrieb integriert werden können, da durch die auf Vererbung und Polymorphie basierenden Spezifikationen der Eigenschaften der Netzelemente speziellere immer an die Stelle allgemeinerer treten können.

Die Spezifikation der Netzelemente erfolgt anhand sogenannter Managed object class Definitionen, deren Form und Verwendung in den ISO-Normen 7498-4, 10165-1, -2 und -4 festgeschrieben sind [ISO 1993; ISO 1992a; ISO 1992b]. Außerdem enthält die Norm 10165-2 eine Hierarchie von vorgegebenen Klassen, wie sie von den (ebenfalls standardisierten) Systemmanagementfunktionen vorausgesetzt werden, und die von anderen Standards (z.B. GSM 12.20 [ETSI 1996]) als Basis für die Spezialisierung verwendet werden können. Eine Übersicht der Klassen ist Bild 1 zu entnehmen. Wie man sieht, ist die Liste der Klassen sehr allgemein — selbst so abstrakte Klassen wie *network* oder *equipment* werden erst in spezielleren Normen (in diesem Fall ITU-T M.3100 [ITU 1995]) spezifiziert. Die von *equipment* abgeleitete Klasse *gsmEquipment* schließlich, deren Instanzen die physikalischen Komponenten ei-

nes GSM-Netzes repräsentieren, ist in einem weiteren Standard (GSM 12.20 [ETSI 1996], Bild 2) beschrieben.



**Bild 1:** Klassenhierarchie der Managed objects gemäß ISO 10165-2



**Bild 2:** Managed object classes des GSM-Standards 12.20 [ETSI 1996].

Die funktionalen Einheiten eines Basisstationssystems sind als Subklassen von `gsmManagedFunction` definiert. Eine Instanz der Klasse `bsc` (Basisstation-Controller) kontrolliert mehrere Instanzen der Klasse `btsSiteManager`, die jeweils wieder mehrere Instanzen (in gleicher Lokalität) der Klasse `bts` (base tranceiver station, also der Anlagen, die den Funkverkehr mit den Teilnehmern durchführen) managen. Weitere Funktionen umfassen die Kanalvergabe sowohl beim Verbindungsaufbau als auch beim Zellwechsel (handover). Die vollständige Norm geht auf alle Attribute, Verhaltensbeschreibungen etc. dieser Komponenten ein; sie umfaßt über 200 Seiten.

Die genannten Normen spezifizieren neben den Namen und der Hierarchie der Klassen auch die mit deren Objekten verbundenen Eigenschaften, das sind unter anderem Attribute, Verhalten und Relationen zu anderen Objekten (siehe Bild 3). Sie stellen damit ein vorgefertigtes Modell dar, das von den Klienten der Normen weiter ausgeprägt werden kann. Das von der ISO und den anderen Gremien festgelegte Rahmenwerk ist also eine Ontologie im zweiten obigen Sinne.

```

network MANAGED OBJECT CLASS
DERIVED FROM "Recommendation X.721: 1992":top;
CHARACTERIZED BY networkPackage PACKAGE
BEHAVIOUR DEFINED AS
    "The Network object class is a class of managed objects that are collections of interconnected
    telecommunications and management objects (logical or physical) capable of exchanging information. These
    objects have one or more common characteristics, for example they may be owned by a single customer or
    provider, or associated with a specific service network. A network may be nested within another (larger)
    network, thereby forming a containment relationship. An example of a network that is contained in another
    network is a transmission sub-network. It is owned by a single Administration and can only perform
    transmission functions."
ATTRIBUTES
    networkId GET;;;

equipment MANAGED OBJECT CLASS
DERIVED FROM "Recommendation X.721: 1992":top;
CHARACTERIZED BY equipmentPackage PACKAGE
BEHAVIOUR DEFINED AS
    "The equipment object class is a class of managed objects that represents physical components of a managed
    element, including replaceable components. An instance of this object class is present in a single geographic
    location. An equipment may be nested within another equipment, thereby creating a containment relationship.
    The equipment type shall be identified by sub-classing this object class. Either the name of the sub-class or an
    attribute may be used for identifying the equipment type.
    When the attribute value change notification package is present, the attributeValueChange notification defined
    in Recommendation X.721 shall be emitted when the value of one of the following attribute changes: alarm
    status, affected object list, user label, version, location name and current problem list. Because the above
    attributes are all in conditional packages, the behaviour for emitting the attribute value change notification
    applies only when the corresponding conditional packages are present in the managed object. When the state
    change notification package is present, the stateChangeNotification defined in Recommendation X.721 shall
    be emitted if the value of administrative state or operational state changes (when the
    administrativeOperationalStates conditional package is present)." ;;
ATTRIBUTES
    equipmentId GET SET-BY-CREATE,
    replaceable GET SET-BY-CREATE;;;
CONDITIONAL PACKAGES
    attributeValueChangeNotificationPackage PRESENT IF "the attributeValueChange notification defined in
    Recommendation X.721 is supported by an instance of this class.",
    stateChangeNotificationPackage PRESENT IF "the stateChange notification defined in Recommendation X.721 is
    supported by an instance of this class.",
    ...;

```

**Bild 3:** Spezifikation der Klassen *network* und *equipment* in ITU-T M.3100 [ITU 1995].

Die Verhaltensbeschreibung sind wesentlich für das Verständnis der Festlegungen; sie sind durchgängig nicht formal.

Doch zurück zur modellbasierten Diagnose. Der Inhalt der Management Information Base eines GSM-Basisstationssystems ist ein Modell der physikalischen Realität. Dieses Modell ist jedoch in seiner vorliegenden Form nur bedingt für die modellbasierte Diagnose geeignet. Zwar finden sich alle Komponenten und auch die Verknüpfung derselben darin wieder, doch die dazugehörigen Verhaltensbeschreibungen in den Managed object classes sind, aus praktischen Gründen, natürlichsprachig gehalten (siehe Bild 3). Außerdem sind die Systembeschreibungen sämtlich objektorientiert und nicht, wie in der modellbasierten Diagnose üblich, auf einem logischen oder mathematischen Kalkül basierend.

Nichtsdestotrotz läßt sich das Konzept der modellbasierten Diagnose verhältnismäßig einfach mit einer objektorientierten Ontologie verbinden, und zwar, indem man für die Verhaltensbeschreibungen eine auf Attributen als logischen Variablen und auf Implikation als Konnektor beruhende Syntax definiert und diese Beschreibungsform statt in einsortige in ordnungssortierte Prädikatenlogik [Bläsius et al. 1989] übersetzt. Aus dieser lassen sich dann, wie in [Steimann et al. 1999] gezeigt, direkt sortenrichtig instanziierte aussagenlogische Klauseln ableiten, auf deren Basis sich die Diagnose effizient berechnen läßt.

## 5 Schluß

Wir sind der Ansicht, daß die Modellierung natürlicher, technischer und sozialer Systeme von der Ontologie als im Grenzgebiet zwischen der Philosophie und den faktischen Wissenschaften angesiedelte Disziplin in mehrfacher Hinsicht profitieren kann. Zum einen verlangt eine ontologische Grundlegung, daß die Modellierungskonzepte an die realen Gegebenheiten angepaßt werden, so daß der Modellierungsprozeß nicht durch die Ausdrucksmittel beschränkt wird. Zum anderen können Ontologien in der Art einer Enzyklopädie des Wissens zu einem Themenbereich wegen ihres generellen Charakters gut als Ausgangspunkt für eine individuelle Modellierung herangezogen werden. Diese Ansicht wird durch die angeführten Beispiele bestärkt.

## 6 Referenzen

- [BGB 1998] *Bürgerliches Gesetzbuch* 43. Auflage (Deutscher Taschenbuch Verlag, 1998).
- [Bläsius et al. 1989] KH Bläsius, U Hedtstück, CR Rollinger (Hrsg) *Sorts and Types in Artificial Intelligence Lecture Notes in Artificial Intelligence* 418 (Springer 1989).
- [Bunge 1977] M Bunge *Treatise on Basic Philosophy Volume 3: Ontology I: The Furniture of the World* (D Reidel, Dordrecht 1997).
- [Campbell et al. 1999] KE Campbell, DE Oliver, KA Spackman, EH Shortliffe „Representing thoughts, words, and things in the UMLS“ *Journal of the American Medical Informatics Association* (1999).
- [Chandrasekaran et al. 1999] B Chandrasekaran, JR Josephson, VR Benjamins „What are ontologies, and why do we need them?“ *IEEE Intelligent Systems* (Januar/Februar 1999) 20–26.
- [ETSI 1996] *GSM 12.20: Digital cellular telecommunications system (Phase 2); Base Station System (BSS) Management Information* (European Telecommunications Standards Institute, 1996).
- [Fowler 1998] M Fowler *Analysis Patterns: Reusable Object Models* (Addison-Wesley, Menlo Park 1998).
- [Fox & Gruninger 1998] MS Fox, M Gruninger „Enterprise Modeling“ *AI-Magazine* 19:3 (1998) 109–121.
- [Fröhlich et al. 1997] P Fröhlich, N Henze, W Nejdil „Meta-Modeling for Hypermedia Design“ in: *IEEE Metadata'97* (1997).
- [Gamper et al. 1999] J Gamper, W Nejdil, M Wolpers „Combining ontologies and terminologies in informations systems“ in: *5th International Congress on Terminology and Knowledge Engineering* (Innsbruck 1999).
- [Gruber 1993] TR Gruber „A Translation Approach to Portable Ontology Specifications“ *Knowledge Acquisition* 5 (1993) 199–220.
- [Guarino & Giaretta 1995] N Guarino, P Giaretta „Ontologies and knowledge bases: towards a terminological clarification“ in: N Mars *Towards Very Large Knowledge Bases* (IOS Press, Amsterdam 1995).
- [Guarino 1998] N Guarino (Hrsg.) *Formal Ontology in Information Systems: Proceedings of the 1st International Conference (FOIS'98)* (IOS Press, Amsterdam 1998).

- [Hay 1996] DC Hay *Data Model Patterns: Conventions of Thought* (Dorset House Publishing, New York 1996).
- [ISO1990] ISO/IEC 1087 *Information Technology — Information Resource Dictionary System (IRDS) Framework* (International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission, Genève 1990).
- [ISO 1989] ISO 7498-4 *Information Processing Systems – Open Systems Interconnection – Basic Reference Model – Part 4: Management Framework* (ISO/IEC 1989); auch: CCITT Recommendation X.700 (ITU).
- [ISO 1993] ISO 10165-1 *Information Technology – Open Systems Interconnection – Structure of Management Information: Management Information Model* (ISO/IEC 1993); auch: CCITT Recommendation X.720 (ITU).
- [ISO 1992a] ISO 10165-2 *Information Technology – Open Systems Interconnection – Structure of Management Information: Definition of Management Information* (ISO/IEC 1993); auch: CCITT Recommendation X.721 (ITU).
- [ISO 1992b] ISO 10165-4 *Information Technology – Open Systems Interconnection – Structure of Management Information: Guidelines for the Definition of Managed Objects* (ISO/IEC 1992); auch: CCITT Recommendation X.722 (ITU).
- [ITU 1995] *ITU-T M.3100: Maintenance; Telecommunications Management Network; Generic Network Information Model* (ITU 1996).
- [Jeusfeld et al. 1998] MA Jeusfeld, M Jarke, HW Nissen, M Staudt „ConceptBase: Managing conceptual models about information systems“ in P Bernus, K Mertins, G Schmidt (Hrsg) *Handbook on Architectures of Informations Systems* (Springer, 1998).
- [Knight & Luk 1994] K. Knight, Steve K. Luk „Building a Large-Scale Knowledge Base for Machine Translation“ in Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence (Seattle, 1994).
- [Nejdl & Wolpers 1999] W Nejdl, M Wolpers „A Data-Driven Information System on the Web“ 8th International World Wide Web Conference (Toronto 1999).
- [Parsons & Wand 1997] J Parsons, Y Wand „Using objects for systems analysis“ *Communications of the ACM* 40:12 (1997) 104–110.
- [Russel & Norvig 1995] SJ Russel, P Norvig *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (Prentice Hall, Englewood Cliffs 1995).
- [Sciore 1989] E Sciore „Object specialization“ *ACM Transactions on Infomation Systems* 7:2 (1989) 103–122.
- [Steimann et al. 1999] F Steimann, P Fröhlich, W Nejdl „Model-Based Diagnosis for Open Systems Fault Management“ *AI Communications* (1999) im Druck.
- [Sowa 1984] JF Sowa *Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine* (Addison-Wesley 1984).
- [Swartout & Tate 1999] W Swartout, A Tate „Ontologies“ *IEEE Intelligent Systems* (Januar/Februar 1999) 18–19.
- [Wiederhold & Genesereth 1997] G Wiederhold, M Genesereth „The Conceptual Basis for Mediation Services“ *IEEE-IS* 12:5 (1997) 38–47.