

UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH)

**INSTITUT FÜR ANGEWANDTE INFORMATIK
UND FORMALE BESCHREIBUNGSVERFAHREN**

**Kolloquium
Angewandte Informatik Karlsruhe
1989**

10./11. November 1989

Herausgeber: M. Salavati

Bericht 200

Mai 1990

Vorwort

Das "Kolloquium Angewandte Informatik Karlsruhe 1989" fand vom 10. bis 11. November 1989 im Ballsaal des Hotels Ramada Renaissance in Karlsruhe statt. Wie schon vor zwei bzw. acht Jahren¹ hatte das Institut einen besonderen Anlaß zu feiern, nämlich den 50. Geburtstag seines langjährigen Leiters.

Das Kolloquium war daher zweigeteilt:

- Ein Festkolloquium aus Anlaß des Geburtstages von Herrn Professor Dr. Wolfried Stucky fand am Nachmittag des 10. November 1989 statt. Es wurde von Herrn Professor Dr. G. Schlageter geleitet. Für die Mitarbeiter des Institutes war es eine angenehme Aufgabe, dieses Festkolloquium zu Ehren ihres langjährigen Chefs zu gestalten. Auch hatten sie die Ehre, dazu einzuladen.
- Das Kolloquium Angewandte Informatik Karlsruhe 1989 selbst fand am 11. November 1989, ab 9.30 Uhr, unter der Leitung von Professor Stucky statt.

Das Programm beider Veranstaltungen ist auf den Seiten 5 und 6 dieses Bandes abgedruckt.

Sowohl das "Geburtstags-Kolloquium" als auch das "Kolloquium Angewandte Informatik Karlsruhe 1989" waren herausragende Ereignisse in der Geschichte des Institutes für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren. Die Kolloquien boten Gelegenheit, die Kontakte zu den Freunden des Institutes aus der Wirtschaft sowie zu ehemaligen Kollegen und Diplomanden zu pflegen und zu vertiefen.

Ich möchte an dieser Stelle im Namen der Leitung des Institutes, insbesondere Herrn Professor Stuckys und im Namen der Mitarbeiter, allen ganz herzlich danken, die zum Gelingen der beiden Kolloquien beigetragen haben - durch Unterstützung bei der Organisation (hier insbesondere Herrn Professor R. Krieger) sowie durch die Übernahme von Vorträgen, Sitzungs- und Diskussionsleitungen während des Kolloquiums und

INSTITUT FÜR ANGEWANDTE INFORMATIK
UND FORMALE BESCHREIBUNGSVERFAHREN
UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH)
Postfach 6980

7500 Karlsruhe

Telefon:

0721-608-3812 (Prof. Dr. W. Stucky)
0721-608-3923 (Prof. Dr. R. Studer)

Telefax:

0721-608-4290

Electronic Mail:

stucky: LD05@DKAUNI2.BIZNET
studer: LD10@DKAUNI2.BIZNET

¹ Das erste Kolloquium dieser Art fand aus Anlaß des 10jährigen Bestehens des Instituts am 30. Oktober 1981 statt, das zweite anläßlich des 16jährigen (bzw. binär-denkwürdigen 10000jährigen) Bestehens des Instituts am 9./10. Oktober 1987.

nicht zuletzt durch die Teilnahme am Kolloquium selbst (und hier insbesondere denen, die von weit angereist sind) und für die so gezeigte Verbundenheit mit unserem Institut und seiner Arbeit.

Daß die Veranstaltungen in einem derart festlichen Rahmen stattfinden konnten, war nur aufgrund großzügiger Unterstützung durch befreundete Unternehmen und Personen möglich. Ihnen allen sei an dieser Stelle ganz herzlich gedankt.

Karlsruhe, im Mai 1990
Mohammad Salavati

Festkolloquium

aus Anlaß des 50. Geburtstages von Herrn
Professor Dr. Wolfried Stucky

10. November 1989

Programm

16.00 Uhr

Professor Dr. Gunter Schlageter
FernUniversität Hagen
Begrüßung und Eröffnung

Professor Dr. Georg Lausen
Universität Mannheim
**Über die Schwierigkeiten,
in Datenbanksystemen "nein" zu sagen**

- Festvortrag -
Professor Dr. Hermann Maurer
TU Graz
Über Computer und Zukunft

20.00 Uhr

Eröffnung des Büffets

21.30 Uhr

Alfred Pietzsch
Sindelfingen
**EDV: vorgestern, gestern
und auch noch heute**

Kolloquium Angewandte Informatik 1989

11. November 1989

Programm

9.30 Uhr

Begrüßung und Eröffnung
Prof. Dr. Wolfried Stucky

9.45 Uhr

Methoden und Systeme der künstlichen Intelligenz
Prof. Dr. Rudi Studer

10.30 Uhr

Kaffepause

11.00 Uhr

Bericht der Institutsleitung
Prof. Dr. Wolfried Stucky

12.00 Uhr

Mittagspause

13.30 Uhr

Deduktive Datenbanken
- ein neuer Ansatz zur Wissensdarstellung -
Dr. Nicolai Preiß, Dipl.-Math. Peter Sander
PD Dr. Jürgen Wolff von Gudenberg

14.30 Uhr

Kaffepause

15.00 Uhr

Podiumsdiskussion:
**Wissensbasierte Systeme, Deduktive Datenbanken,
Künstliche Intelligenz - Modische Schlagworte?**
Leitung Prof. Dr. Andreas Weber

16.00 Uhr

Ende

Inhaltsverzeichnis

Vorwort -- anstelle des Eröffnungsvortrages.....	11
Professor Dr. Gunter Schlageter, FernUniversität Hagen	
Über die Schwierigkeiten, in Datenbanken "nein" zu sagen	13
Professor Dr. Georg Lausen, Universität Mannheim	
Computer und Zukunft.....	23
Professor Dr. Hermann Maurer, TU Graz	
Methoden und Systeme der Künstlichen Intelligenz	42
Professor Dr. Rudi Studer, Universität Karlsruhe	
Bericht der Institutsleitung.....	55
Prof. Dr. Wolffried Stucky, Universität Karlsruhe	
Deduktive Datenbanken.....	79
Dr. Nikolai Preiß, Bausparkasse GdF Wüstenrot, Ludwigsburg Dipl.-Math. Peter Sander, Universität Karlsruhe	
Typvererbung in objektorientierten Datenbanken oder: Sind Zirkuselefanten scheu?.....	99
PD Dr. Jürgen Wolff von Gudenberg, Universität Karlsruhe	

Vorwort -- anstelle des Eröffnungsvortrages

Gunter Schlageter
FernUniversität Hagen

Was schreibt man in einer Vorbemerkung zu einem Sammelband wissenschaftlicher Beiträge, die anlässlich des fünfzigsten Geburtstages seines früheren Chefs vorgestellt wurden? Den Eröffnungsvortrag im Rahmen des Festkolloquiums zu halten - eine Herausforderung und Freude zugleich: ein Moment des Rückblicks, des Neu-Erlebens einer vielgestaltigen Vergangenheit, des Neu-Bewertens von Ereignissen, die uns geprägt haben. Aber aufschreiben kann man das so nicht, - aus vielerlei Gründen, aber vor allem, weil sich in einen solchen Vortrag viel Privates, viel Nachdenkliches, viel Persönliches mischt, weil sich vieles nur in der augenblicklichen Atmosphäre überträgt, und vor allem, weil vieles nun einmal direkt an Stucky selbst gerichtet war.

Ich denke, es ging vielen so wie mir: daß Stucky fünfzig sein sollte, kam sehr überraschend, traf uns, die ihn lange kennen und mit ihm gearbeitet haben, so naiv unvorbereitet - wie dies ja immer ist bei Menschen, mit denen man Vergangenheit teilt. Stucky hat eine vollgepackte Vergangenheit, er hat seine Intelligenz, seine Kreativität und seine unendliche Energie an tausend Dingen gemessen. Von der Theorie zur Anwendung in der Industrie, vom Stiftungslehrstuhl mit all seinen Existenzproblemen zum Leiter eines angesehenen großen Institutes, vom Forscher, der um Exaktheit und Sauberkeit ringt, zum Unternehmer ...

Bei Stuckys Werk muß man zwei Elemente sehen: er hat unmittelbar wissenschaftlich gewirkt (sein Publikationsverzeichnis ist so lang, daß ich keine Lust hatte, die Einträge zu zählen, eine Reihe von Büchern gehört dazu); aber im gleichen Maße hat er für die Wissenschaft dadurch gewirkt, daß er eine überaus geschickte Hand für den wissenschaftlichen Nachwuchs und dessen Förderung bewies. Aus seiner Schule sind immerhin dreizehn Doktoren und zwei Habilitierte hervorgegangen, zwei seiner Jünger sind inzwischen C4-Professoren. Daneben übersieht man

leicht, daß das Institut längst nicht das wäre, was es heute darstellt, hätte nicht Stucky stets und unermüdlich gekämpft.

Wir alle wünschen uns, daß Stucky diese Energie und Produktivität behält, daß er der junge unerschrockene Professor bleibt, als den ich ihn kennengelernt habe und der er über die Jahre immer geblieben ist. Ich wünsche ihm für seinen weiteren Lebensweg alles Gute.

Gunter Schlageter

Über die Schwierigkeiten, in Datenbanken "nein" zu sagen

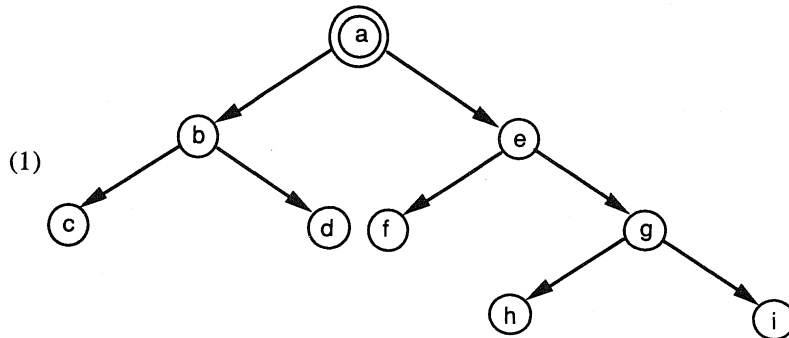
Georg Lausen
Universität Mannheim

Anläßlich des 50sten Geburtstages von Professor Stucky mag das Thema meines Vortrags auf den ersten Blick falsch gestellt sein. Herr Stucky ist einer der deutschen Datenbankpioniere; somit ist es klar, daß man zu Datenbanken "ja" sagt, was viele der Anwesenden, darunter auch ich, als Schüler von Herrn Stucky auch getan haben und immer noch tun. Aber mein Thema ist ja nicht, *zu* Datenbanken "nein" zu sagen, sondern *in* Datenbanken "nein" zu sagen. "Nein" in Datenbanken oder, etwas präziser, Negation in Datenbanken ist eine der derzeitig intensiv diskutierten, aber noch nicht zufriedenstellend gelösten Fragen im Datenbankbereich. Ich möchte Ihnen in meinem Vortrag aufzeigen, wo hier die Probleme liegen.

Unter einer Datenbank verstehe ich eine Menge von Relationen; die Elemente der Relationen, also die eigentlichen Daten, bezeichne ich als Tupel. Eine Abfrage an eine Datenbank wählt Tupel aus, wählt aus Tupeln gewisse Komponenten aus oder kombiniert Tupel zu neuen Tupeln und berechnet somit in dieser Weise aus den explizit in der Datenbank gegebenen Daten neue Daten, die als implizit in der Datenbank vorhanden betrachtet werden können. Ich möchte mich mit Datenbankabfragen aus dem Blickwinkel der Logik beschäftigen. Jeder Relation sei ein Prädikat zugeordnet, das gerade für die in der Relation enthaltenen Tupel als wahr angenommen wird. Eine Abfrage ist dann zunächst eine beliebige logische Formel 1. Ordnung. Was sind die Antworten auf eine solche Abfrage? Damit bin ich bei meinem eigentlichen Vortragsthema angekommen. Ich werde mich insbesondere mit Abfragen beschäftigen, die auf in der Datenbank nicht vorhandene Daten Bezug nehmen, die also gewissermaßen "nein" zu bestimmten Daten sagen. Ich werde mich auf die Diskussion eines Beispiels beschränken. Meine Intention ist, Sie mit diesem Beispiel in die Problematik des "nein" in Datenbanken einzuführen;

aus Gründen der Anschaulichkeit nehme ich in Kauf, daß die Diskussion - von einem formalen Standpunkt aus gesehen - häufig unpräzise bleibt.

Mein Beispiel ist ein stark vereinfachtes Spielbrett, das eine Menge von Feldern enthält, zwischen denen in jeweils festgelegter Richtung ein Stein verschoben werden kann. Es wird mit genau einem Stein gespielt. Ein solches Spiel kann in offensichtlicher Weise durch einen gerichteten Graphen dargestellt werden, in dem genau ein Knoten markiert ist. Der folgende Graph repräsentiert ein relativ einfaches Spielbrett:



Der zweifach umrandete Knoten a ist der durch den Stein markierte Knoten. An einem Spiel sind zwei Spieler beteiligt, die abwechselnd den Stein in Richtung einer Kante ausgehend von dem gerade markierten Knoten auf einen direkt erreichbaren Knoten verschieben müssen. Ist ein Spieler an der Reihe und kann den Stein nicht verschieben, so hat er verloren.

Das Problem, mit dem wir uns beschäftigen wollen, besteht nun darin, für ein gegebenes Spielbrett alle diejenigen Felder zu bestimmen, von denen aus man das Spiel gewinnen kann, sofern man jeweils den richtigen Zug wählt. Bezüglich des Spielbrettes (1) sind die Gewinnfelder gerade

b , e und g , da ausgehend von einem solchen Feld der Stein auf eine Senke in unserem Graphen geschoben werden kann und damit der Gegner verloren hat. Beachten Sie, daß ausgehend von e auch falsch gezogen werden kann, nämlich von e nach g . In dieser Situation findet mein Gegner den Stein auf dem Gewinnfeld g und bringt mich zwangsläufig mit seinem nächsten Zug auf eine Senke, sodaß ich verloren habe.

Zurück zu den Datenbankabfragen. Bevor ich Ihnen die Lösung des Problems präsentiere, möchte ich zunächst einige einfachere Abfragen diskutieren. Zunächst muß das Spielbrett in einer Datenbank repräsentiert werden. Dazu werden zwei Relationen benötigt:

$$(2) \quad \begin{aligned} \text{Feld} &= \{a, b, c, d, e, f, g, h, i\}, \\ \text{Schiebe} &= \{(a, b), (b, c), (b, d), (a, e), (e, f), (e, g), (g, h), (g, i)\}. \end{aligned}$$

Abfragen sollen durch logische Formeln ausgedrückt werden. Jeder Relation wird ein entsprechend-stelliges Prädikat zugeordnet. Das Prädikat ist genau dann wahr, wenn das betreffende Tupel in der Relation enthalten ist. Sind wir z.B. an allen Feldern interessiert, auf die wir von a aus direkt schieben können, so ergibt sich die Menge dieser Felder wie folgt:

$$(3) \quad \{X \mid \text{Schiebe}(a, X)\} = \{b, e\}.$$

Schiebe wird hier als Prädikat interpretiert, zu dem alle diejenigen X gesucht werden, sodaß *Schiebe*(a, X) wahr. Nun, das Thema meines Vortrages ist "nein" zu sagen; betrachten wir somit die Abfrage, alle diejenigen Felder zu bestimmen, auf die von a aus nicht direkt geschoben werden kann. Die erste Idee zu einer Abfrage ist wahrscheinlich:

$$(4) \quad \{X \mid \neg \text{Schiebe}(a, X)\}.$$

Diese Abfrage ist jedoch nicht korrekt, da X implizit \forall -quantifiziert ist über einem Wertebereich, der nicht bekannt ist. Angenommen, der zugrundeliegende Wertebereich ist die Menge aller Zeichenketten, so hätte diese Abfrage eine nicht endliche Antwortmenge - sicher nicht die vom Abfrager erwartete Situation. Die korrekte Version der Abfrage ist nicht schwer zu erraten:

$$(5) \quad \{X \mid \neg \text{Schiebe}(a,X) \wedge \text{Feld}(X)\} = \{a,c,d,f,g,h,i\}.$$

Dieses einfache Beispiel zeigt uns bereits die erste Schwierigkeit, "nein" zu sagen: ohne spezielle Vorkehrungen hängt die Menge der Antworten nicht allein von den Daten in der Datenbank ab, sondern von dem für den Benutzer in der Regel vollkommen uninteressanten zugrundeliegenden Wertebereich der Datenbank.

Wir haben gesehen, wie relativ einfach Unabhängigkeit vom Wertebereich erreicht werden kann. Im allgemeinen ist es jedoch für eine beliebige logische Formel nicht entscheidbar, ob sie die gewünschte Eigenschaft der Unabhängigkeit vom Wertebereich hat oder nicht. In realen Datenbanksystemen schränkt man deshalb die zulässigen logischen Abfrageformeln auf diejenigen ein, von denen man sicher weiß, daß sie die gewünschte Eigenschaft haben. Der übliche Weg, der jedoch nicht immer so einfach den gewünschten Effekt hat, besteht aus einer Erweiterung der Abfrage um Konjunktionen, die die Variablen der Abfrage enthalten.

Die nächste Abfrage, die ich Ihnen vorstellen möchte, ist die Bestimmung aller derjenigen Felder, die mit einem oder mehreren Zügen erreichbar sind. Das Schwierige an dieser Abfrage ist, daß wir, sofern wir unsere bisherige Technik beibehalten wollen, die Länge der längsten Zugfolge wissen müssen. Wollen wir beispielsweise die Menge aller von e aus erreichbaren Felder bestimmen, so genügt in unserem Beispiel:

$$(6) \quad \{X \mid \text{Schiebe}(e,X)\} \cup \{X \mid \exists Y \text{ Schiebe}(e,Y) \wedge \text{Schiebe}(Y,X)\} = \{f,g,h,i\}.$$

Diese Abfrage ist vom Typ der Berechnung der transitiven Hülle eines Graphen. Es ist klar, daß - von einem praktischen Standpunkt aus gesehen - Abfragen nach der transitiven Hülle, für die die Kenntnis des längsten Weges erforderlich ist, nicht akzeptabel sind. Unsere bisherige Abfragetechnik wird in der Literatur als Relationenkalkül bezeichnet. Es konnte gezeigt werden, daß keine (endliche) Abfrage im Relationenkalkül existiert, die die transitive Hülle eines beliebigen endlichen Graphen berechnet. Um Abfragen dieses Typs berechnen zu können, muß Rekursion ausdrückbar sein, d.h., wir müssen die Mächtigkeit unseres Abfragemechanismus erweitern. Der übliche Weg ist hier die Verwendung von sogenannten Regelprogrammen. Ein solches Programm, das unser Abfrageproblem löst, besteht aus den folgenden beiden Regeln, wobei die zweite Regel rekursiv ist:

$$(7) \quad \begin{aligned} \text{Erreichbar}(X) &\leq \text{Schiebe}(e,X). \\ \text{Erreichbar}(X) &\leq \text{Erreichbar}(Y) \wedge \text{Schiebe}(Y,X). \end{aligned}$$

Die erste Regel bestimmt die direkt erreichbaren Felder, die mehrmalige Anwendung der rekursiven Regel ergibt dann schließlich die Menge aller von e aus erreichbaren Felder.

Da "nein" zu sagen das Thema meines Vortrages ist, betrachten wir als nächstes die Abfrage, alle von e aus nicht erreichbaren Felder zu bestimmen. Mit unserem schon etwas geschärften Problembewußtsein werden wir folgendes Regelprogramm wählen:

$$(8) \quad \begin{aligned} \text{Erreichbar}(X) &\leq \text{Schiebe}(e,X). \\ \text{Erreichbar}(X) &\leq \text{Erreichbar}(Y) \wedge \text{Schiebe}(Y,X). \\ \text{Außerhalb}(X) &\leq \neg \text{Erreichbar}(X) \wedge \text{Feld}(X). \end{aligned}$$

Wo ist hier ein Problem? Das Problem ist, daß wir zur Berechnung der gewünschten Antworten *Außerhalb*(X) eine Annahme über die Reihenfolge der Regelanwendungen machen müssen: Zuerst müssen die beiden ersten Regeln so lange angewendet werden, bis alle erreichbaren Felder bestimmt sind; danach wird die dritte Regel angewendet. Würden wir zuerst die dritte Regel anwenden, dann wäre für alle Felder $\neg \text{Erreichbar}(X)$ wahr, und somit würden wir die offensichtlich falsche Antwort erhalten, daß alle Felder von e aus nicht erreichbar sind. Haben wir negierte Prädikate im Rumpf einer Regel, also rechts vom Implikationszeichen " \leq ", so müssen wir unser Regelprogramm in sogenannte Schichten aufteilen, die nacheinander abgearbeitet werden. Das Prädikat links

vom Implikationszeichen " \leq " bezeichnet man als Kopf der Regel. Die Aufteilung in Schichten muß nun so vorgenommen werden, daß gilt:

- Sei r eine Regel in Schicht i , die ein negiertes Prädikat p im Rumpf enthält. Jede Regel mit Kopf p befindet sich in einer Schicht $j < i$.
- Sei r eine Regel in Schicht i , die ein nichtnegiertes Prädikat p im Rumpf enthält. Jede Regel mit Kopf p befindet sich in einer Schicht $j \leq i$.

Mittels der Schichtung erreichen wir somit, daß ein negiertes Prädikat erst dann während einer Regelanwendung verwendet wird, wenn alle Tupel bestimmt sind, für die dieses Prädikat wahr ist.

Geschichtete Regelprogramme haben interessante logische Eigenschaften. Regelprogramme werden üblicherweise in der Logikprogrammierung betrachtet. Wir beschränken uns auf Programme, in denen der Kopf jeder Regel ein nichtnegiertes Prädikat ist und der Rumpf jeweils aus einer Konjunktion negierter oder nichtnegierter Prädikate besteht. Regelprogramme ohne Negation im Rumpf haben ein eindeutiges minimales (logisches) Modell. Unter einem Modell versteht man eine Zuweisung von Relationen an die Prädikatsymbole, sodaß alle Regeln erfüllt sind. Ich möchte im Rahmen meines Vortrages den Modellbegriff lediglich anhand einiger Beispiele erläutern. Betrachten wir das Programm:

$$(9) \quad \begin{aligned} \text{Erreichbar}(X) &\leq \text{Schiebe}(e,X). \\ \text{Erreichbar}(X) &\leq \text{Erreichbar}(Y) \wedge \text{Schiebe}(Y,X). \end{aligned}$$

und sei die Relation *Schiebe* wie in (2) fest vorgegeben. Die Relation *Erreichbar* = { f,g,h,i } ergibt dann zusammen mit *Schiebe* ein minimales Modell zu (9). Das Modell ist minimal, da jede echte Teilmenge zu einer Regelverletzung führt. Nehmen wir beispielsweise h aus der Menge heraus, so gilt *Erreichbar*(g) wahr und *Schiebe*(g,h) wahr, jedoch *Erreichbar*(h) falsch. Die Relation *Erreichbar* = { c,d,f,g,h,i } ergibt zusammen

mit *Schiebe* ebenfalls ein Modell, jedoch ist dieses nicht minimal, da c,d entfernt werden können, ohne die Modelleigenschaft zu verletzen.

Für Programme mit Negation im Rumpf existieren u.U. mehrere verschiedene minimale Modelle. Sei *Schiebe* wiederum wie in (2). Dann existieren die folgenden zwei minimalen Modelle für das Programm (8):

$$(10) \quad \begin{aligned} \text{Erreichbar} &= \{f,g,h,i\}, \\ \text{Außerhalb} &= \{a,b,c,d,e\}, \end{aligned}$$

und ebenfalls:

$$(11) \quad \begin{aligned} \text{Erreichbar} &= \{a,b,c,d,e,f,g,h,i\}, \\ \text{Außerhalb} &= \emptyset. \end{aligned}$$

Das Modell (10) enthält gerade diejenigen Antworten in *Außerhalb*, die wir auch bzgl. unserer Schichtung des Programms erhalten hätten. Würden wir gemäß (11) einem Benutzer die leere Menge als Antwort liefern, so entspräche dies sicher nicht seinen Vorstellungen. Der Antwortbegriff im Datenbankbereich basiert deshalb nicht auf dem Begriff der logischen Folgerbarkeit, d.h. eine Antwort ist genau dann wahr, wenn sie bzgl. aller Modelle wahr ist; eine Antwort ist vielmehr bei uns genau dann wahr, wenn sie bzgl. der Menge der sogenannten intendierten Modelle wahr ist. Für geschichtete Programme existiert immer ein eindeutiges intendiertes Modell, das in der Regel als das perfekte Modell bezeichnet wird. Das perfekte Modell kann gerade durch Anwendung der Regeln gemäß der Schichtung berechnet werden.

Ich möchte Ihnen natürlich ein Beispiel für ein nicht geschichtetes Programm nicht vorenthalten:

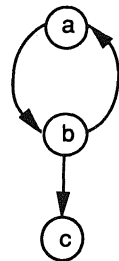
$$(12) \quad \text{Gewinn}(X) \leq \text{Schiebe}(X,Y) \wedge \neg \text{Gewinn}(Y).$$

Dieses Programm ist nicht geschichtet, da das Prädikat *Gewinn* in der Regel im Kopf und negiert im Rumpf steht. Rekursion über negierte Prädikate ist somit nicht erlaubt. Die Frage ist nun, welche Antworten

durch dieses Programm definiert werden. Intuitiv definiert die Regel ein Feld X dann als Gewinnfeld, wenn ich ausgehend von X in einem Zug auf ein Verlustfeld schieben kann. Was sind jedoch die Verlustfelder? Wir vermuten, daß diese Regel unser eigentliches Problem der Bestimmung der Gewinnfelder löst, daß wir in unserer bisherigen Denkweise der sukzessiven Regelanwendungen jedoch nicht in der Lage sind, die entsprechenden Antworten zu berechnen. Bzgl. unseres Spielbrettes (1) sind die Gewinnfelder b , e und g . Sei die Relation *Schiebe* entsprechend gewählt, dann ergibt *Schiebe* und die Relation $Gewinn = \{b, e, g\}$ tatsächlich ein minimales Modell zu (12). Dieses Modell wollen wir wiederum als das intendierte betrachten, da wir auch hier noch andere minimale Modelle finden können. Beispielsweise ergibt $Gewinn = \{c, d, h, i, e, a\}$ zusammen mit *Schiebe* ebenfalls ein minimales Modell.

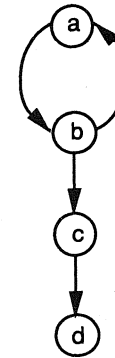
Gestalten wir als nächstes die Struktur unseres Spielbrettes etwas komplizierter. Betrachten wir den Fall:

(13)



Das intendierte Modell ergibt sich gerade aus $Schiebe = \{(a,b), (b,c), (b,a)\}$ und $Gewinn = \{b\}$. Wir sehen, daß unsere Abfrage (12) auch zyklische Strukturen verkraftet. Jedoch, was ist das intendierte Modell zu folgendem Spielbrett:

(14)



Sicherlich ist d ein Verlustfeld und somit c ein Gewinnfeld. b kann nicht Gewinnfeld sein, da c bereits Gewinnfeld ist und ein Zug von b nach a letztlich wieder die Ausgangssituation erzeugen wird. b ist auch kein Verlustfeld, da der Zug von b nach c nicht zwangsläufig ist, da ja außerdem ein Zug von b nach a möglich ist, von dem aus dann ja wieder die Ausgangssituation folgt. Analoge Argumentation gilt bzgl. a . Aus dieser Diskussion folgt jedoch nun, daß das intendierte Modell hier einen dreiwertigen Wahrheitswert benötigt: *wahr*, *falsch* und *undefiniert*.

Lassen Sie mich meinen Vortrag kurz zusammenfassen. Ich wollte Ihnen zeigen, daß die adäquate Behandlung von Negation in Datenbanken noch ein offenes Problem ist. Konsens herrscht bis zu den geschichteten Programmen. Hier kann, so glaube ich, gesagt werden, daß man eine der intuitiven Denkweise eines Benutzers entsprechende logische Semantik für Abfragen gefunden hat. Jedoch mußte auch hier schon ein neuer Weg in der Logik beschritten werden. Welche Semantik ist adäquat für nicht geschichtete Programme? Ich habe Ihnen einen zur Zeit intensiv diskutierten Vorschlag vorgestellt; ob sich dieser Vorschlag durchsetzen wird, bleibt abzuwarten. Neue Impulse hat er der Forschung auf jeden Fall verliehen; mittlerweile konnte sogar ein Algorithmus gefunden werden, der das intendierte Modell berechnet. Es bleibt die Erkenntnis, daß es tatsächlich nicht einfach ist, in Datenbanken "nein" zu sagen.

Literatur

Wesentliche Grundlage für meinen Vortrag war die Arbeit:

A. Van Gelder. The alternating fixpoint of logic programs with negation. In: Proceedings of the ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART Symposium on Principles of Database Systems, pp. 1-10, 1989.

Arbeiten die zeigen, wie die Diskussionen um eine adäquate Behandlung der Negation in datenbankorientierten Logikprogrammen weitergeht, finden sich z.B. in den

Proceedings of the ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART Symposium on Principles of Database Systems, 1990.

Computer und Zukunft¹

Hermann Maurer
TU Graz

Lieber Wolffried, ich möchte Dir herzlich gratulieren zu Deinem Fünfziger. Ich freue mich wirklich sehr, daß ich die Gelegenheit habe, diesen Vortrag hier zu halten; nicht zuletzt deshalb, weil wir ja vor fünfzehn Jahren, wie Gunter gerade gesagt hat, gemeinsam eine Zeitlang das Institut geleitet und aufgebaut haben. Und ich darf einmal in aller Öffentlichkeit sagen, daß ich mir niemanden vorstellen kann, mit dem es so schön und so angenehm wäre, ein Institut aufzubauen und zu leiten, wie mit Dir.

Ich werde jetzt keinen Informatikvortrag und keinen technischen Vortrag halten. Sondern ich werde ein bißchen philosophieren über Zukunft und Computer. Das heißt insbesondere natürlich auch, daß ich einige technische Prognosen versuchen werde. Solche technischen Prognosen sind furchtbar schwer. Sie sind erstens schwer, weil sich die Wissenschaft rapide weiterentwickelt, wie wir alle wissen, und zweitens, weil es oft um lange Zeiträume geht, um die wir uns kümmern müssen, wenn wir solche Prognosen machen. Wenn wir zum Beispiel nachdenken, was man etwa in den Grundschulen unterrichten sollte, dann müssen wir uns doch überlegen, wie die Welt ausschauen wird zu jenem Zeitpunkt, wo die gegenwärtigen Kinder fünfzehn oder zwanzig Jahre später als Diplomingenieure die Berufswelt betreten. Das heißt also, wir müssen technische Prognosen machen über einen Zeitraum von vielleicht fünfzehn oder zwanzig Jahren hinweg. Und der französische Informatiker und Philosoph Jaques Hebenstreit hat ganz richtig gesagt, daß jeder Versuch, eine Prognose über einen solchen Zeitraum zu machen, nur noch Phantasterei ist, nur noch Science-Fiction. Er hat sogar ironisch allen Kollegen, die sich mit solchen Prognosen beschäftigen, empfohlen, wenn

¹ Vortrag gehalten am 10. November 1989 zum Kolloquium Angewandte Informatik 1989 (aus Anlaß des 50. Geburtstages von Herm Professor Dr. Wolffried Stucky) im Ballsaal des Hotels Ramada Renaissance in Karlsruhe.

Die vorliegende schriftliche Version ist eine redigierte Tonbandabschrift des Vortrags.

man schon solche Prognosen macht, dann bitte über einen Zeitraum von fünfzig oder hundert Jahren, denn dann kann man wenigstens niemanden mehr zur Verantwortung ziehen, wenn die Prognosen nicht stimmen; und sie stimmen bestimmt nicht.

Die meisten von Ihnen kennen die Murphy-Gesetze. Also das Kerngesetz: "Alles, was schiefgehen kann, geht schief", oder Verschärfungen davon: "Alles, was schiefgehen kann, geht im schlimmsten Moment schief", oder Konkretisierungen davon wie etwa: "Befindet man sich auf der Autobahn in einem Stau, dann ist man immer in der Spur, die sich am langsamsten bewegt", und da gibt es eine lange Liste von solchen sehr pessimistischen Murphy-Gesetzen. Das letzte Gesetz, der letzte Nachsatz hat mich immer besonders amüsiert, er lautet nämlich: "Murphy war ein Optimist".

Der Grund, warum ich die Murphy-Gesetze hier erwähne, ist dieser: Mir ist eine Erweiterung zu diesen Murphy-Gesetzen eingefallen, die gerade zu dem paßt, was ich vorhin gesagt habe: "Jede Entwicklung in der Informatik, die man verstanden hat, ist veraltet." Auch damit möchte ich zum Ausdruck bringen, wie schnell sich das Gebiet entwickelt und wie schwierig daher Prognosen sind - übrigens eine alte Weisheit, denn es gibt schon ein zweitausend Jahre altes chinesisches Sprichwort: "Prognosen sind schwierig, vor allem wenn sie die Zukunft betreffen." Übrigens der Grund, warum ich heute hier mit Kette stehe und nicht mit Krawatte, hängt auch mit der Schwierigkeit von Prognosen zusammen. Ich habe nämlich zu dem Zeitpunkt, wo z.B. in Berkeley in Amerika das Hippietum am Höhepunkt war und viele Studenten mit wunderschönen Ketten herumgelaufen sind, prognostiziert, daß ab 1985 niemand mehr mit Krawatte herumlaufen wird, sondern nur noch mit schönen Ketten. Aber wie Sie sehen, ich bin nach wie vor der Einzige.

Jetzt möchte ich ein bißchen systematischer sein und Ihnen erklären, wie mein Vortrag heute strukturiert ist. Im ersten Teil werde ich versuchen zu beweisen, bzw. genau zu argumentieren, daß es unmöglich ist, langfristige technische Prognosen zu machen; damit untergrabe ich eigentlich meinen Vortrag: wenn ich bewiesen habe, daß ich keine Prognosen machen kann, wie soll ich dann über Zukunft und Computer sprechen? Aber - im zweiten Teil - werde ich dann zeigen, daß man

gewisse Prognosen doch machen kann. Nachdem ich in diesen ersten zwei Teilen viel über Computer gesprochen habe, dann werde ich auf einmal eine 180gradige Kehrtwendung machen und werde behaupten: Computer sind überhaupt nicht wichtig. Konkreter, ich werde folgende Frage stellen: "Wenn wir uns die technischen Wissenschaften anschauen und uns fragen, welches Phänomen hat die Gesellschaft am meisten verändert, verändert sie heute und wird sie verändern." Wenn man diese Frage stellt, dann bekommt man heute sehr oft die Antwort: "Das sind die Computer." Ich werde im dritten Teil meines Vortrages versuchen zu belegen, daß das nicht stimmt, daß ein ganz anderes Phänomen viel wesentlicher ist. Was dieses Phänomen ist, das verrate ich Ihnen jetzt natürlich noch nicht, damit es spannend bleibt; die Antwort kommt dann erst im dritten Teil.

Also jetzt zum ersten Teil: ich möchte belegen, daß es mehr oder minder unmöglich ist, genaue langfristige technische Prognosen zu machen. Da gibt es verschiedene Gründe dafür. Der erste offensichtliche Grund ist der, daß sich technische Entwicklungen nicht schön kontinuierlich vollziehen, sondern in Sprüngen. Diese Sprünge entsprechen Erfindungen und Entdeckungen: natürlich kann man diese Erfindungen und Entdeckungen nicht vorhersehen, denn könnte man sie vorhersehen, ja dann wären sie ja fast per definitionem keine richtigen Erfindungen oder Entdeckungen mehr. Das bereitet natürlich große Schwierigkeiten: wie soll man denn etwa über die Auswirkungen des Flugverkehrs vor 100 Jahren vernünftig diskutieren, zu einem Zeitpunkt, wo noch alle Wissenschaftler die Ansicht vertreten haben, daß etwas, das schwerer als Luft ist, nicht fliegen kann. Oder wie soll man vernünftig argumentieren über die Auswirkungen der Kernenergie oder der Atombombe vor 80 Jahren, zu einem Zeitpunkt, wo es noch ein Axiom war, daß das Atom unteilbar ist, usw. usw.

Daß man solche Sprünge nicht vorhersehen kann, das ist offensichtlich ein großes Problem, und das Problem gibt es nicht nur beim Flugzeug und bei der Atomenergie, sondern natürlich in allen Bereichen, auch in der Informatik. Es gibt viele Beispiele dafür. Eines darf ich erwähnen: Im Jahre 1975 hat es eine Studie gegeben, wie stark sich die Packungsdichte von Disketten bis zum Jahre 1990 vergrößern wird. Bitte erinnern Sie sich: damals haben Disketten noch eine Speicherkapazität von unter

100 Kilobyte gehabt. Man hat also versucht zu prognostizieren, wie stark sich die Speicherdichte erhöhen wird, und man hat prognostiziert, daß die Speicherdichte der Disketten 1990 zwischen ein bis zwei Megabyte liegen wird. Wenn Sie heute eine Diskette, z.B. eine 3 1/2 Zoll Floppy für einen Mac II oder für einen IBM PC, in die Hand nehmen, dann liegt die Speicherkapazität wirklich zwischen ein bis zwei Megabyte. In diesem Sinn waren also die Prognosen wahnsinnig genau. Und trotzdem waren sie völlig unbrauchbar, nämlich völlig unbrauchbar deshalb, weil ein Entwicklungssprung, der inzwischen geschehen ist, nicht vorhersehbar war - der Entwicklungssprung zu wiederbeschreibbaren optischen Platten. Und diese wiederbeschreibbaren optischen Platten, die Sie heute bereits so um dreitausend Mark oder weniger kaufen können, die werden immer mehr beginnen, die heute noch üblichen Magnetdisketten zu ersetzen. Und auf einer solchen wiederbeschreibbaren optischen Platte können Sie eben nicht ein bis zwei Mbyte im Jahre 1990 speichern, sondern ein bis zwei Gigabyte. Das heißt, so genau diese Prognosen waren, so unsinnig waren sie, weil in Wirklichkeit durch eine neue Entwicklung ein Sprung um einen Faktor 1000 geschehen ist.

Das eine "Problem" sind also Erfindungen und Entdeckungen. Das zweite Problem ist: selbst wenn man die Erfindung schon in der Hand hat, selbst wenn man sie schon kennt, ist es furchtbar schwer vorherzusehen, was sie eigentlich bedeuten wird, wie weit sie sich durchsetzen wird. Zwei Beispiele dafür: Mein liebstes ist die Erfindung des Plattenspielers, des Phonographs von Edison. Edison war nicht ein Wissenschaftler im Elfenbeinturm, sondern er war gleichzeitig ein Geschäftsmann, und er hat nicht nur den Plattenspieler erfunden, er hat ihn auch erzeugt, und er hat auch Flugzettel geschrieben, wo er erklärte, was die Vorteile von Schallplatten, von Plattenspielern sind. Und in einem von diesen Flugzetteln steht: "Mit Hilfe von Schallplatten ist man in der Lage, schöne Stimmen und Konzerte für die Zukunft zu konservieren, durch den Schallplattenspieler wird es möglich sein, Ansprachen, Theaterstücke, Konzerte bis in das entlegenste Bauernhaus zu bringen", usw. usw. Edison hat also eine ganze Reihe von richtigen Vorhersagen getroffen. Am Ende seines Flugzettels trifft er die Vorhersage, die ihm am wichtigsten erscheint, er sagt nämlich: "Vor allem aber werden wir endlich in der Lage sein, uns Musik mit der Geschwindigkeit anzuhören, mit der wir sie wollen, langsamer oder schneller." Das heißt also, ein Geschäftsmann,

der mit beiden Füßen in der Wirklichkeit gestanden ist, hat seine eigene Erfindung so falsch eingeschätzt, daß er die Variabilität der Musikgeschwindigkeit für das Entscheidende hielt!

Ein ganz anders gelagertes Beispiel ist das Telefon. Das Telefon gibt es ja schon über hundert Jahre: es hat sich furchtbar langsam durchgesetzt. Noch um 1920 herum hat es viele ernstzunehmende Techniker gegeben, die gesagt haben: Das Telefon ist interessant für gewisse kommerzielle Anwendungen, aber im Privatbereich völlig uninteressant. Warum soll ich mir privat ein Telefon installieren? Alle meine Freunde haben ja auch keines. Diese "Henne-Ei"-Problematik wurde damals genauso überzogen, wie sie heute in anderen Bereichen, z.B. Bildschirmtext, überzogen wird. Und dann, nach 1920, sind die Anschlußzahlen für das Telefon nicht hinaufgegangen, sondern sind sogar gefallen. Die erwähnten Zweifler haben jubelt und haben gesagt: Sehen Sie, wir haben Recht gehabt, das Telefon war eine Modeerscheinung; jetzt melden sogar Leute schon ihren Telefonanschluß ab. Und die Wahrheit war natürlich: die Anschlußzahlen sind gesunken, aber aus einem ganz anderen Grund, nämlich wegen der Weltwirtschaftskrise; und da waren eben viele Leute gezwungen, auf nichtlebensnotwendige Einrichtungen zu verzichten.

Damit komme ich gleich zum dritten Punkt. Alle diese Technikprognosen, und damit natürlich auch die Prognosen über die Folgen der Technik, die hängen von furchtbar vielen globalen Parametern ab, z.B. vom Parameter Weltwirtschaft, vom Parameter Krieg, vom Parameter Umwelt, aber vielleicht auch von solchen Aspekten wie Marketing, internationale Standards, soziale Akzeptanz, usw. usw. Denken Sie doch nur z.B. an die Concorde: die Entwicklung solcher überschallschneller Passagierflugzeuge ist eingestellt worden, weil der verursachte Lärm nicht akzeptierbar war. Oder denken Sie z.B. an die Kernenergie: die Tatsache, daß es sehr starke Widerstände dagegen gibt, bedeutet, daß die Entwicklung sicherer Kernenergieanlagen stark verzögert wird. Das heißt also, auch hier spielen globale Faktoren hinein, die überhaupt nichts mit der Technik und nichts mit der direkten Bewertung von technischen Entwicklungen zu tun haben.

Es gibt noch viele weitere Argumente, die man anführen kann, warum es unmöglich ist, genaue Vorhersagen zu treffen. Aber eines möchte ich noch vorbringen, einfach deshalb, weil ich glaube, daß es oft nicht genug verstanden wird, und weil es besonders wichtig ist. Ich meine dieses: Wenn ich ein Phänomen habe, und wenn ich dieses Phänomen stark vergrößere, dann entsteht daraus nicht nur mehr vom selben Phänomen, sondern es entsteht daraus etwas grundsätzlich Neues. Ich sage dazu meistens: Ein Sprung in der Quantität bedeutet einen Sprung in der Qualität. Mit Qualität meine ich natürlich nicht gut oder schlecht, sondern meine ich nur, ich kriege neue Eigenschaften.

Das betrifft uns Informatiker sehr stark. Heute sind Computer, wie Sie wissen, weit verbreitet, aber sie sind bei weitem nicht allgegenwärtig. Wieviele wirklich mächtige PC's haben wir heute nachmittag hier in diesem Hörsaal? Ich glaube überhaupt keinen. Sie sehen also, wie wenig weit verbreitet Computer heute sind! Ich behaupte, wenn wir beim 80. Geburtstag von Wolffried wieder hier zusammensitzen werden, wird jeder von uns einen solchen PC schon entweder in seiner Rocktasche haben oder vielleicht im Damenhandtäschchen mit sich tragen. Das heißt also, vor uns liegt noch ein dramatischer, quantitativer Sprung in der Verbreitung von Computern, und dieser dramatische quantitative Sprung wird bedeuten, daß wir nicht einfach ein bißchen mehr machen mit Computern, ein bißchen mehr Textverarbeitung, ein bißchen mehr Dateiverwaltung und so, sondern wir werden ganz andere Sachen damit machen. Es werden ganz neue Eigenschaften dadurch entstehen, ganz neue Phänomene.

Bevor ich auf diese ganz neuen Phänomene eingehe, möchte ich zuerst einmal begründen, warum ich so sicher bin, daß ein Sprung in der Quantität die Eigenschaften, die Qualität, verändert. Ich bin darum so sicher, weil ich Ihnen ein Dutzend Analogien aufzählen kann, die das belegen. Meine Lieblingsanalogie ist die folgende Wasser-Analogie.

Stellen Sie sich bitte einen Augenblick lang einen Beduinen in der Wüste vor, der in seinem Leben noch nie Wasser gesehen hat in einer größeren Menge als in einer kleinen Pfütze in einer Oase. Und stellen Sie sich jetzt vor, Sie erzählen diesem Beduinen vom Bodensee oder vom Atlantischen Ozean, und er soll sich doch bitte mit all seiner Phantasie vorstellen, was

diese große Wassermenge dann für Eigenschaften haben wird. Zunächst einmal wird dieser Beduine Ihnen nicht glauben, daß es solche Wassermengen überhaupt gibt (vielleicht wie einige von Ihnen mir nicht geglaubt haben, daß jeder in 30 Jahren einen PC in der Rocktasche haben wird). Aber nachdem Sie den Beduinen überzeugt haben, daß es solche Wassermengen gibt, dann wird er ganz erstaunt nachdenken und wird zum Schluß zu Aussagen kommen wie: Das ist ja unglaublich, da kann ich 10000 Kamele auf einmal tränken!

Aber auf die wirklichen neuen Eigenschaften einer solchen großen Wassermenge kann er, wird er - egal wie phantasiebegabt er ist - meiner Ansicht nach nicht kommen können, auf Eigenschaften wie: man kann in dieser Wassermenge "schwimmen"; man kann Fahrzeuge bauen, die sich auf diesem Wasser bewegen; wenn ein starker Wind kommt, dann wirft sich das Wasser so eigentümlich, und diese "Wellen" können das Fahrzeug sogar umkippen, und die Menschen, die auf dem Fahrzeug fahren, die können ins Wasser fallen und sogar ertrinken und sterben. Ich glaube, daß man all diese Phänomene von einer kleinen Pfütze in der Wüste unmöglich ableiten kann.

Können Sie sich vorstellen, daß ein Beduine, der nur so wenig Wasser kennt, sich ausmalen kann, daß in der Nähe der großen Wasserfläche an stillen Herbsttagen plötzlich die ganze Welt weiß und undurchsichtig wird - daß also dichter "Nebel" entsteht? Ich bin sicher, daß er das nicht kann. Das heißt eben, daß dieser Sprung in der Quantität tatsächlich ganz neue Qualitäten mit sich bringt; und das geschieht auch uns noch mit den Computern. Und jetzt werden Sie mich mit Recht fragen: Ja was sind denn diese neuen Phänomene bei Computern? Und jetzt kann ich nur sagen: Ich habe auch nicht mehr Phantasie als der Beduine, ich kann die Frage auch nicht beantworten. Vielleicht haben wir eine Spur mehr Chance als der Beduine, sobald wir verstanden haben, daß es tatsächlich zu diesem Sprung kommen wird; aber wenn, dann haben wir wirklich nur eine Spur mehr Chance.

Ich hoffe, daß ich mit den wenigen Argumenten doch ziemlich schlagend bewiesen habe, daß es tatsächlich unmöglich ist, über längere Zeiten vernünftige Prognosen zu machen, wie die Technik, wie die Informatik, wie

die Computer in 15 Jahren oder in 50 Jahren tatsächlich ausschauen werden.

Ich komme jetzt zum zweiten Teil. Ich versuche im zweiten Teil zu retten, was zu retten ist. Nachdem ich ja keine Aussagen machen kann, wie Computer und Informatik in der Zukunft ausschauen werden, kann ich dann überhaupt noch vernünftige Aussagen über die Zukunft machen?

Nun, das eine, ich kann dasselbe probieren, das mit den Floppy-Disks geschehen ist. Ich kann also versuchen, eine "untere Schranke" abzuleiten. Mit anderen Worten, ich traue mir nicht zu zu sagen, wie der PC im Jahre 2020 oder 2030 ausschauen wird. Aber was ich mir zutraue ist, eine untere Schranke anzugeben, also zu sagen, welche Eigenschaften er mindest (unter ganz milden Voraussetzungen) haben wird. Die milden Voraussetzungen sind, daß wir uns nicht ausgerottet haben durch einen Atomkrieg, oder daß es nicht zu einer Riesenumweltkatastrophe gekommen ist, usw. Aber unter solchen milden Voraussetzungen wage ich es, eine untere Schranke anzugeben. Und wenn diese untere Schranke überraschend ist (und das eine Megabyte war z.B. 1975 noch ziemlich überraschend, und viele Leute haben es angezweifelt), also wenn diese unteren Schranken bereits überraschend sind, dann bedeutet das natürlich schon etwas für uns, dann haben wir schon ein bißchen Einblick in die Zukunft gewonnen.

Ich versuche jetzt also, eine untere Schranke für einen solchen PC des Jahres 2020, den wir zum 80. Geburtstag von Wolfried haben werden, anzugeben. Ich behaupte zunächst einmal, daß dieser PC sehr klein sein wird. Er wird so klein sein, daß man ihn etwa in einer Sakko-Tasche unterbringen kann. Sie werden sofort darauf sagen: Das ist doch Unsinn, denn dann habe ich ja weder Platz für eine vernünftige Tastatur, noch habe ich Platz für einen vernünftigen Bildschirm. So einfach ist das nicht. Der Computer hat natürlich einen schönen Schirm, nur ist dieser Schirm ein zusammenlegbarer. Sie falten ihn zweimal auseinander, dadurch wird der Computer aktiviert, und Sie haben dann eine Din-A-4-Seite eines hochqualitativen Flachbildschirms, mit dem Sie arbeiten. Die Tastatur, ja die gibt es tatsächlich nicht, die ist vielleicht optional, aber die brauchen Sie auch nicht, weil das meiste, was Sie machen, sprachaktiviert geschieht. Das heißt also, wenn Sie Text eingeben wollen, dann

sprechen Sie den Text, und der erscheint dann auf dem Schirm. Wenn Sie wirklich eine Tastatur brauchen aus irgendeinem Grund, weil Sie vielleicht ein Fremdwort eintippen wollen und das nicht buchstabieren wollen, was Sie natürlich auch könnten, oder weil Sie einmal in einem Eisenbahnabteil etwas eingeben wollen, ohne Ihren Nachbarn zu stören, das ist kein Problem. Sie können sagen: "Ich möchte eine Tastatur haben!", und dann erscheint auf dem Bildschirm graphisch eine Tastatur, und auf der können Sie dann mit zehn Fingern auf einer Art berührungssensitiven Schirm normal tippen.

Abgesehen von diesen Eigenschaften, welche Eigenschaften hat dieser PC in 20, 30 Jahren noch? Natürlich hat er einen großen Internspeicher und schnelle Prozessoren, das sind Trivialitäten, mit denen ich mich jetzt nicht aufhalten will. Wichtig ist vielleicht, daß er einen großen Externspeicher haben wird. Dieser Externspeicher wird natürlich auf der Basis einer wiederbeschreibbaren optischen Karte sein, einer Karte, die so groß ist wie eine Kreditkarte, die man außen in einen Schlitz hineinstecken kann und die einige Gigabyte Kapazität haben wird. Im Buchhandel werden Sie in der Lage sein, die gegenwärtigen 150 Bestseller auf einer solchen Karte zu kaufen, und Sie können dann jedes von diesen Büchern, wo immer Sie wollen, im Bett oder in der Straßenbahn, oder wo immer Sie es sonst bevorzugen, bequem lesen.

Was wird das Gerät sonst noch haben? Relativ wichtig ist die Tatsache, daß das Gerät auch enthalten wird: Radio, Fernsehempfang und Telefon; in den größeren Modellen - und da bin ich nicht mehr ganz sicher, ob Sie diese Modelle noch in die Sakkotasche einstecken können - wird auch ein Fotoapparat integriert sein.

Wie Sie wissen, die ersten Fotoapparate, die nicht chemisch aufzeichnen, sondern digitale Bilder speichern, sind in der Bundesrepublik seit einem halben Jahr auf dem Markt. Und man hat in Wirklichkeit in dem PC der Zukunft dann schon "alles drinnen", nur noch der eine Chip, der das Bild aufnimmt und digitalisiert, fehlt. Aber wegen der Optik ist das ein bißchen komplizierter und ein bißchen größer und könnte eine Option sein.

Aber der Rest ist keine Option: Das Mobiltelefon nicht, das ist fix eingebaut. Wer es nicht glaubt, soll nach England fahren, dort gibt es um 800

Gramm ein Mobiltelefon, das Sie in ganz England verwenden können und das so klein ist, daß es in jeder Rocktasche Platz hat.

Und was bedeutet das nun eigentlich? Ich habe bis jetzt nur beschrieben, was da alles drinnen ist, was können Sie dann machen mit diesem PC? Sie können damit natürlich alles das machen, was Sie heute machen können: Textverarbeitung, Dateiverwaltung, usw. usw., Programme schreiben, Programme exekutieren mit einer schöneren Benutzeroberfläche als heute, aber Sie können auch noch ziemlich viel mehr.

Das Buchlesen habe ich schon gesagt. Das Zeitunglesen habe ich Ihnen noch nicht erklärt: das geht auch. Sie haben alle Zeitungen, Tageszeitungen, Wochenzeitschriften usw., die Sie jetzt abonnieren oder die Sie jetzt kaufen, verfügbar. Und zwar verfügbar deshalb, weil in den Totzeiten des Fernsehens auf einem Fernsehkanal zwischen zwei Uhr früh und fünf Uhr früh verschlüsselt alle Tageszeitungen der Bundesrepublik und alle Wochenzeitschriften, wie Spiegel usw., übertragen werden. Und wenn Sie ein Abonnement haben, bedeutet das, daß Sie die Schlüssel für einige von diesen Zeitschriften haben, und daß aus dem verschlüsselten Datenstrom Ihre Zeitung herausgeholt wird. Beim Frühstückstisch haben Sie auf Ihrer optischen Karte dann schon die Tageszeitungen oder Wochenzeitungen usw., für die Sie sich interessieren.

Diese neuen Zeitungen haben übrigens noch die angenehme Eigenschaft, daß Sie interessante Artikel dann auch gleich in Ihre private Datenbank kopieren können, so daß Sie später wieder damit arbeiten können.

Was können Sie noch damit tun? Wenn Sie sich nur überlegen, was Ihnen die vielfältigen Kombinationen liefern, dann kommen Sie ohnehin auf viele Ideen selbst. Z.B. bedeutet die Tatsache, daß Sie ein Telefon eingebaut haben, daß Sie mit allen Datennetzen in Verbindung stehen. D.h. Sie können jederzeit jeden Zugfahrplan oder Theaterspielplan abrufen oder etwas Ähnliches. Sie können damit zahlen. Die Zeit des Bargeldes, der Kreditkarte, des Euroschecks geht dem Ende zu. Sie zahlen mit dem Gerät so, wie Sie heute bei Lifтанlagen in Frankreich oder manchmal auch schon in Österreich mit einer Chipkarte zahlen. Das heißt, Sie können Ihren kleinen PC in der Bank mit Geld auftanken lassen, und Sie zahlen dann, indem Sie bei der Kasse im Supermarkt, oder wo immer Sie hinge-

hen, so, wie Sie die Chipkarte heute beim Lift einschieben, dann den Computer einschieben, und dann wird automatisch abgebucht.

Einen Punkt, den ich mehrmals mit Wolffried besprochen habe, in dem er nicht meiner Meinung ist, so daß wir sogar noch eine Wette bis zum Jahr 2000 laufen haben, muß ich doch auch erwähnen. Das Gerät wird selbstverständlich als Übersetzer verwendbar sein. Das heißt, es ist auf Ihre Stimme trainiert, und Sie können deutsch hineinsprechen und können eine der üblichen Sprachen einstellen, Griechisch oder Englisch, und es kommt selbstverständlich Griechisch oder Englisch heraus. Und wer die akustisch aktivierten Schreibmaschinen, die in den Labors der größeren Hersteller heute stehen und die schon einen recht schönen Wortschatz und einfache Syntax verstehen, gesehen hat, bezweifelt nicht, daß das schnell Wirklichkeit werden wird, mit dramatischen Auswirkungen: mit den Auswirkungen, daß die Motivation für Fremdsprachenunterricht in einer Generation schlichtweg verschwunden ist. Diese Translatoren übersetzen zwar nicht perfekt, natürlich nicht. Im Gegenteil, wenn man etwas hineinspricht, wird das Gerät manchmal zurückfragen: Wie meinst Du dieses Wort? So oder so? Und man muß das dann weiter erklären, um mehrdeutige Situationen zu bereinigen. Aber das Gerät wird viel besser übersetzen als jeder Schüler, nachdem er acht Jahre in eine Schule gegangen ist und dort Fremdsprachenunterricht genommen hat: für normale Kommunikation ist das sicher besser geeignet als Fremdsprachenunterricht. Nur Spezialisten, die sich wirklich mit dem Inneren einer Sprache beschäftigen wollen, werden die Sprache noch im heutigen Sinn lernen.

Vielleicht genügt das, was den PC in 30 Jahren anbelangt. Was Sie verstehen sollten, ist dieses, das ist vielleicht untergegangen: Ich habe Ihnen nichts Utopisches gesagt, ich habe eine untere Schranke gesagt, ich habe etwas gesagt, von dem wir wissen, daß es zutrifft.

Es gibt in all diesen Behauptungen, die ich gemacht habe, nur zwei kleine Schwachstellen, die möchte ich auch erwähnen. Die eine Schwachstelle ist die Schirmtechnologie. Tatsächlich ist es so, daß wir heute nicht mit 100%iger Sicherheit behaupten können, daß es in 30 Jahren einen faltbaren Farb-Flachbildschirm mit genügend großer Qualität geben wird. Den gibt es in Labors heute noch nicht. Daß es Flachbildschirme geben

wird, die man falten kann, das ist sicher. Ob sie hinreichend gute Farbqualität haben, so daß sie z.B. die Qualität eines guten Farbphotos erreichen, das ist unsicher. Was allerdings dafür spricht, daß auch diese Prognose zutrifft, ist die Tatsache, daß die Display-Technologie und die Entwicklung von solchen Schirmen inzwischen einen sehr großen Stellenwert erlangt hat. Ted Nelson hat z.B. gesagt: "Wenn die Computer die Welle der Zukunft sind, dann ist Display-Technologie das Surfboard dazu." Was er damit sagen wollte ist, daß die Displaytechnologie so wichtig für die Verbreitung und die Benutzerfreundlichkeit ist, daß hier sehr viel investiert werden muß und auch investiert wird.

Die zweite Schwachstelle ist, ob es uns tatsächlich gelingen wird, die Größe auf Sakkotaschenformat zu reduzieren, oder ob man den PC wie ein kleines Täschchen umgehängt tragen wird müssen.

Diese PC werden so wichtig sein für alles, was Sie machen - sie sind ja z.B. Uhr, Radio, Telefon und Zahlungsgerät -, daß Sie jederzeit dieses Gerät mithaben werden. Etwas überspitzt formuliert glaube ich, daß Sie sich ohne dieses Gerät in 30 Jahren mindestens so nackt fühlen werden, als hätten Sie keine Unterhose an, ... um es etwas übertrieben zu formulieren.

Noch einmal möchte ich darauf hinweisen, ich habe hier eine untere Schranke erklärt. Ich habe nicht das gesagt, woran ich glaube. Woran ich glaube, was wahrscheinlich ist, was aber als untere Schranke nicht mehr belegbar ist, das geht viel weiter.

Wenn ich Ihnen z.B. sage, was ich glaube, was ich für möglich halte, dann schaut das so aus, daß der PC keinen Bildschirm mehr haben wird, sondern nur ein kleines Loch. Und unter diesem kleinen Loch werden vibrierende Spiegel sein, die Laserstrahlen ausrichten. Und diese Laserstrahlen werden Interferenzmuster erzeugen und ein 3-dimensionales Bild, ein 3-dimensionales Hologramm aufbauen. Und Sie werden die Größe dieses 3-dimensionalen Bildes adjustieren können, zwischen 10x10x10 cm bis zu 5x5x5 m, je nachdem, wie Sie es einsetzen wollen.

Und wenn Sie glauben, ich übertreibe, ich tue es nicht. Am Media-Labor des MIT finden Sie schon einen ersten Prototyp: einen Computer, der ein computergeneriertes 3-dimensionales Bild erzeugt.

Eine Kleinigkeit habe ich noch vergessen, eine nette Anwendung von diesem PC. Die möchte ich jetzt noch erwähnen, ich habe sie in meiner Geschichte vergessen. Dieser PC wird auch als schöner Führer verwendbar sein. Ich erkläre das z.B. an Hand eines Museums. Sie kommen in ein Museum hinein, und Sie werden sich dann nicht einen Katalog kaufen, wie heute vielleicht, sondern Sie werden sich eine optische Karte entweder kaufen oder ausborgen, auf der der Katalog ist. Erstens ist das ein sehr ausführlicher Katalog, aber das Schöne an dem Katalog ist vor allem, er ist selbstführend. Wenn Sie mit Ihrem PC herumgehen, und Sie kommen zu irgendeinem Exponat, dann wird auf Ihrem Schirm automatisch dieses Exponat als Bild aufscheinen und beschrieben werden. Das ist ganz einfach möglich, schon heute. Wir haben ja einen Radioempfänger im PC integriert; das heißt, jedes Exponat schickt ein ganz schwaches Radiosignal aus, das nur in unmittelbarer Umgebung registrierbar ist. Dieses Signal sagt meinem PC, vor welchem Exponat ich stehe. Daher kann dieser automatisch auf die richtige Seite meines Führers gehen. Die Zeiten, wo Sie in Pompeji herumgegangen sind und dann immer verzweifelt im blauen Führer wieder gesucht haben, wo Sie jetzt gerade stehen und was dieser runde Klotz da bedeutet, die sind dann vorüber. Sie haben stets eine genaue Beschreibung, was vor Ihnen steht.

Das gilt natürlich nicht nur für Museen oder für archäologische Stätten, das gilt natürlich auch für Stadtführer. Sie können Ihren PC mit einem Führer von Karlsruhe nehmen und können sagen: "Wo stehe ich jetzt?" Und dann wird der Plan von Karlsruhe eingeblendet mit der Angabe, wo Sie sich gerade befinden; und wenn Sie dann noch eingeben: Ich möchte jetzt ins "Ramada-Hotel" fahren, und ich bin gerade bei der Autobahnausfahrt, dann wird nicht nur die Route eingezeichnet, sondern Sie können das Gerät neben sich auf den Sitz legen, und der PC wird wie ein Beifahrer sagen, was Sie zu tun haben. Ja, reden wird er, damit Sie nicht zu sehr abgelenkt werden. Und er sagt Ihnen: "Sie fahren jetzt die Durlacher Allee Richtung Stadtzentrum; fahren Sie nur bitte gerade weiter, über die nächste Verkehrsampel noch drüber; jetzt kommen Sie zum

Durlacher Tor, bitte im Kreisverkehr etwas links halten!" Und wenn Sie dann irrtümlich doch geradeaus weiterfahren in die Kaiserstraße, dann wird das Gerät sagen: "Ups, jetzt sind Sie aber falsch gefahren, aber das macht nichts, an der übernächsten Kreuzung bitte links abbiegen!" usw. Und wieder, es gibt schon entsprechende Prototypen. Einer, wieder vom MIT, heißt "backseat driver". Er funktioniert genau, wie ich es Ihnen beschrieben habe, und funktioniert übrigens auch auf die Weise, wie ich vorher erklärt habe, mit Radiosignalen: in einem Teil von Boston sind viele kleine Radiosender installiert. Es ist überzeugend, mit dem Auto zu fahren. Man gibt Ausgangspunkt und Endpunkt ein, und das Gerät sagt z.B.: "Bitte jetzt in die rechte Spur einreihen!", und sagt vor der Kreuzung noch einmal: "Sie kommen jetzt zur Kreuzung soundso!", und wenn der Straßename kompliziert ist, dann erklärt er dieses mnemotechnisch, oder er erzählt noch ein bißchen Geschichte dazu usw.

Zusammenfassend kann man, indem man die gegenwärtige Entwicklung in den verschiedenen Labors verfolgt, versuchen, untere Schranken zu extrapolieren. Die größte Problematik ist dabei oft, in die Labors hineinzukommen.

Man kann ferner versuchen, Entwicklungen, die anlaufen, zu verfolgen und zu analysieren, ob sie vielleicht gefährlich werden können. Da gibt es viele Beispiele dazu. Ich möchte heute nur noch ein Beispiel erwähnen, weil es in der Bundesrepublik im Moment ziemlich aktuell ist, das ist das ISDN, das neue digitale Telefonnetz, das ja von der Deutschen Bundespost in Zusammenarbeit mit einigen nachrichtentechnischen Firmen in der Bundesrepublik sehr stark forciert und ja bereits zum Teil installiert wird. Das ist ein Netz, das viele verantwortliche Informatiker für gefährlich halten.

Ich bin für digitale Telefonie, aber ich bin gegen das ISDN-Netz, so wie es jetzt ausgebaut wird. Das ist ein Netz, das uns allen auf den Kopf fallen kann, das zu erhöhter Überwachung und Kontrolle von uns allen führen wird, wenn es so implementiert wird, wie das gegenwärtig geplant ist. Und eine der Aufgaben, die zumindest einige von uns übernehmen müßten, ist, dagegen zu arbeiten. Und es wird ja Gott-sei-Dank fest dagegen gearbeitet. Inzwischen ist es der Post und einigen Firmen klar geworden, daß ISDN ein ernstes Problem wird, ernst in dem Sinn, daß der Wider-

stand innerhalb der Informatiker so stark wird, daß man ihn nicht mehr ignorieren kann. Wir sind also, glaube ich, da schon langsam auf dem richtigen Weg. Die Firmen haben schon langsam Angst, daß, wenn sie nicht umstellen und die Technologie leicht modifizieren, um einige der Gefahren Elemente zu entfernen, daß dann eines Tages diese Technologie einfach nicht akzeptiert wird.

Trotz meiner globalen, negativen Aussagen, die ich am Anfang gemacht habe, gibt es viele weitere Ansätze für sinnvolle Technologieprognosen.

Ich möchte nur noch einen dritten Aspekt herausgreifen, weil ich ihn ganz interessant finde und weil ich glaube, daß da oft ein Mißverständnis vorliegt.

Ich glaube, daß für die weitere Entwicklung der technischen Wissenschaften Science-Fiction (Zukunftsromane) von viel größerer Bedeutung sind, als man das allgemein glaubt. Der Grund dafür ist dieser: Es liegt ein Mißverständnis vor in der Funktion, die Science-Fiction-Autoren in Wirklichkeit wahrnehmen. Üblicherweise glauben viele Leute, daß Zukunftsromanschriftsteller prognostizieren, was Techniker, Politiker, Wissenschaftler in der Zukunft machen werden. So ist es nicht. Es ist in Wirklichkeit gerade umgekehrt. Mit anderen Worten: Jules Verne hat nicht prognostiziert, daß man auf den Mond fliegen wird, sondern weil so viele Romane geschrieben worden sind, daß man auf den Mond fliegen wird, ist das plötzlich ein Ziel geworden und haben Wissenschaftler und Techniker sich daraufhin angestrengt, auf den Mond zu fliegen.

Wenn Ihnen dieses Beispiel nicht gefällt oder Sie nicht überzeugt, vielleicht überzeugt Sie mein zweites Beispiel, das Buch "1984". Im Jahre 1984 haben viele Leute über dieses Buch geschrieben, manchmal auch höhnisch - höhnisch in dem Sinn, daß sie gesagt haben: Die Prognose von George Orwell war falsch. Mißverständnis! Das war nie eine Prognose. George Orwell hat das gemacht, was jeder Zukunftsromanschriftsteller macht. Er stellt ein mögliches Zukunftsszenario vor. Und da gibt es eben gute, und die Vorstellung von solchen guten Szenarios verstärkt die Wirkung in die aufgezeigte Richtung, wie etwa vielleicht bei der Mondfahrt. Und es gibt Szenarien, die eher negativ dargestellt werden, wie das

Überwachungsszenarium von Orwell; die Darstellung solcher negativen Szenarios beeinflusst dann die Entwicklung in umgekehrter Richtung. "1984" ist ein sehr gutes Beispiel dafür. Wenn es dieses Buch und ähnliche nicht gegeben hätte, dann gäbe es bei uns noch kein Datenschutzgesetz! Es ist auf Grund solcher Bücher die Problematik der Überwachung viel, viel früher in das Bewußtsein von Menschen gerückt worden, als das sonst geschehen wäre.

Jetzt habe ich also einige Spekulationen über Computer erklärt und auch über andere technische Entwicklungen gesprochen. Ich möchte jetzt im dritten Teil diese Frage stellen: Was hat von den technischen Entwicklungen der Vergangenheit die Gesellschaft am meisten verändert, verändert die Gesellschaft heute am meisten, und was wird in der Zukunft die treibende Kraft für Veränderungen sein? Und ich möchte betonen, das sind nicht Computer, sondern das ist Telekommunikation.

Lassen Sie mich dies begründen. Vielleicht darf ich mit ein bißchen Militärgeschichte beginnen. Nehmen Sie z.B. die Schlacht im Teutoburger Wald im Jahre 9 n.Chr., wo also Arminius, mein Namensvetter, den Varus vernichtend geschlagen hat, wie Sie alle wissen. Varus war kein besonders guter Feldherr, und er mußte alle Entscheidungen dezentral im Teutoburger Wald treffen, er hatte keine Hilfe von Rom, von Kaiser Oktavian, weil es ja keine vernünftige Kommunikation zwischen Teutoburger Wald und Rom gab.

Durch die ganze Geschichte der Menschheit hindurch waren alle solche Entscheidungen, z.B. bei kriegerischen Auseinandersetzungen, völlig dezentral in der Hand des zuständigen Feldherrn.

Das hat sich das erste Mal im Jahr 1794 geändert. Im Jahre 1794 gab die französische Revolutionsregierung dem Ingenieur Claude Chappe den Auftrag, ein Kommunikationsnetz in Frankreich aufzubauen, das es gestattet, relativ schnell Informationen vom einen Ende Frankreichs zum anderen zu schicken: die französische Revolutionsregierung hatte Angst, daß Frankreich gleichzeitig von Großbritannien, von Preußen, von Österreich und von Spanien angegriffen werden könnte. Und man hatte das Bedürfnis, etwaige militärische Maßnahmen zentral steuern zu können.

Claude Chappe ist völlig vergessen. Zu Unrecht, denn seine Leistung war wirklich einmalig. Er hat eine erste Telekommunikationsstrecke zwischen Toulouse und Paris eingerichtet, und zwar war das eine Kette von Hügeln, sogenannte Signalhügel. Auf jedem Hügel war ein Turm, und auf dem Turm eine mechanische Vorrichtung zum Bewegen von Flaggen. Auf diese Weise hat man mit dem internationalen Flaggenalphabet, das heute noch immer auf hoher See oder bei Pfadfindern verwendet wird, von Hügel zu Hügel in dieser Relais-Kette signalisiert. Und man war auf diese Weise imstande, von Toulouse nach Paris innerhalb von einer Stunde 50 Worte zu übertragen.

Für Informatiker: das bedeutet ein Baud. Die erste Telekommunikationsstrecke in Europa hatte also die Geschwindigkeit von ein Baud und funktionierte so gut, daß diese Signalhügelketten nicht nur über ganz Frankreich aufgestellt wurden, sondern auch hier in der Bundesrepublik, sogar in Amerika. Wenn Sie heute in eine Stadt kommen und Sie finden irgendwo in einer Straßenbezeichnung "Signalhügel" oder "signal hill", vor allem in Nordamerika, dann können Sie mit 99%iger Wahrscheinlichkeit damit rechnen, daß das einer dieser Signalhügel gewesen ist!

Natürlich ist ab 1840 die Bedeutung dieser Signalhügel durch die Einführung des Telegraphen rapide zurückgegangen. Aber es war 1794 der Beginn der Verlagerung im militärischen und im kommerziellen Bereich von dezentralen zu zentralen Entscheidungen. Und das hat die Gesellschaft, das hat die Welt ganz dramatisch und furchtbar verändert. In der Militärgeschichte vielleicht das klassische Beispiel ist die Schlacht um Stalingrad: Sie wissen ja sicher, im Oktober 1942 hatte die 6. Deutsche Armee unter General Paulus Stalingrad umzingelt, war aber selbst umgeben von starken russischen Armee-Einheiten. General Paulus hat natürlich gewußt, wenn er nicht sofort aus diesem Ring ausbricht und versucht, Anschluß zu finden an andere deutsche Truppenteile, dann wird die 6. Deutsche Armee im Kessel von Stalingrad aufgerieben werden. Er hat das gewußt, er hätte diese Entscheidung getroffen, hätte es nicht Telekommunikation gegeben.

Aus dem Führerhauptquartier wurde ihm nämlich befohlen: er muß im Kessel von Stalingrad bleiben, muß weiter kämpfen. In der Zeit zwischen Oktober 1942 und Ende Februar 1943, wo dann Paulus gegen den Befehl Hitlers trotzdem kapitulierte, in dieser Zeit sind im Kessel von Stalingrad immerhin 146000 deutsche Soldaten gefallen und 90000 in Kriegsgefangenschaft geraten, von denen ja auch nicht so viele zurückgekommen sind - eine direkte Auswirkung der Dezentralisierung, eine direkte Auswirkung der Telekommunikation.

Und was ich jetzt über militärische Entscheidungen gesagt habe, das gilt natürlich genauso für kommerzielle Entscheidungen. Keine große weltweite Firma könnte so agieren, wie sie heute agiert, wenn nicht zentral etwa vom Coca-Cola-Headquarter oder vom Big-Blue-Headquarter die Firmenpolitik per Telekommunikation vorgegeben würde.

Denken Sie an andere Bereiche. Das Telefon hat sicher unser Leben sehr stark beeinflußt, aber noch viel stärker haben die Telekommunikations-einrichtungen Radio und vor allem Fernsehen unsere Gesellschaft verändert. Wenn es irgendeine Einrichtung gibt, die in den letzten 30 Jahren unsere Gesellschaft dramatisch, oder vielleicht sogar besser traumatisch verändert hat, dann ist es sicher das Fernsehen. Jeder, der sich das einmal überlegt hat oder der sich die Mühe gemacht hat, z.B. die Bücher von Neil Postman zu lesen über "Die verlorene Kindheit" oder das Buch "Wir amüsieren uns zu Tode", wird mir zustimmen.

Alles das ist Telekommunikation. Und auch in Verbindung mit Computern spielt natürlich Telekommunikation eine tragende Rolle. Computer alleine, wenn das alleinstehende Geräte wären, die wären nicht so wichtig, sie wären auch nicht so gefährlich. So wichtig, so mächtig, aber auch so gefährlich werden die Computer letzten Endes erst durch die Telekommunikation, durch diese starke Vernetzung.

Darum halte ich es - zumindest für den Zweck eines solchen Vortrags - für gerechtfertigt zu argumentieren, daß die Rolle einer treibenden Kraft für die Veränderung unserer Gesellschaft eher der Telekommunikation zukommt als den Computern. Ich halte die Computer eher als Handlanger für die Telekommunikation, als umgekehrt.

Das ist so im wesentlichen, was ich sagen wollte. Ich wollte ein bißchen philosophieren über Zukunft, Computer, Telekommunikation. So vage das vielleicht alles klingt: es ist trotzdem wichtig, daß man sich über solche Sachen den Kopf zerbricht und übrigens das auch an Studenten weitergibt.

Ich nahm unlängst bei einer Podiumsdiskussion in den Vereinigten Staaten teil, und da ist plötzlich den Informatikern am Podium der Vorwurf gemacht worden: "Ihr Informatiker, ihr seid doch nur die Kamele, auf denen die Wirtschaft und das Militär reiten." Ich glaube, wir Informatiker sollten uns genügend um die möglichen Auswirkungen und die Zukunft der Informatik kümmern und das auch an Studenten weitergeben, daß dieser Vorwurf nicht gerechtfertigt ist. Und ich freue mich, daß ich die Möglichkeit gehabt habe, diese Botschaft hier einmal vorzubringen. Danke fürs Zuhören.

Methoden und Systeme der Künstlichen Intelligenz

Rudi Studer
Universität Karlsruhe

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird ein Überblick gegeben über die wichtigsten Anwendungsgebiete und methodischen Grundlagen der Künstlichen Intelligenz (KI). Dabei werden im Rahmen dieses Überblicks ein methodisches und ein anwendungsorientiertes Teilgebiet näher betrachtet werden: das Gebiet der Wissensrepräsentation sowie Expertensysteme.

1. Einleitung

Ehe wir uns nachfolgend einer Charakterisierung der wichtigsten Grundlagen der Künstlichen Intelligenz (KI) sowie ihrer hauptsächlichen Anwendungsgebiete zuwenden, wollen wir zunächst den Bezug der KI zu anderen Geistes- und Naturwissenschaften diskutieren (siehe Abbildung 1) (siehe auch [Habel 1989]).

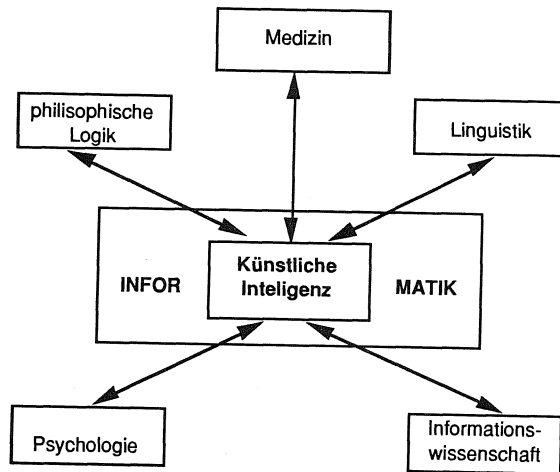


Abb. 1: Die interdisziplinäre Einbindung des Fachgebiets "Künstliche Intelligenz"

KI ist ein Teilgebiet der Informatik, das sehr stark interdisziplinäre Querbezüge zu anderen Wissenschaften aufweist. Dabei gehen wir davon aus, daß sich die KI mit theoretischen Untersuchungen sowie der Entwicklung von Computersystemen beschäftigt, die Leistungen erbringen, für die man Intelligenz voraussetzen würde, sofern diese Leistungen von Menschen erbracht würden (Habel 1989). Da damit der kognitive Aspekt des Aufbaus von Modellen, die menschliches Problemlösungsverhalten erklären und nachbilden, einen wesentlichen Bestandteil der Arbeiten im Rahmen der KI darstellt, sind Disziplinen, die sich mit der Erforschung des menschlichen Geistes befassen, wie z.B. die Psychologie, von unmittelbarer Relevanz für die KI. Andererseits ergibt sich die Einbettung der KI in die Informatik sowie ihr enger Bezug zur Logik aus der methodischen Vorgehensweise, Konzepte zu formalisieren und Systeme zur Evaluierung der gefundenen Konzepte zu realisieren.

Seit Anfang der 70 er Jahre hat sich als zentrales Paradigma der KI das Prinzip der Wissensbasiertheit herausgebildet, d.h. bei der Nachbildung intelligenten Verhaltens wurden Fragen nach der Natur des Wissens sowie der Entwicklung von Methoden zur Darstellung und Verarbeitung von Wissen als zentral erkannt (Lehmann 1989). Dabei stellt sich u.a. das Problem des Aufbaus und der Veränderung von Weltmodellen: was ist eine adäquate Modellierung des Wissens über die reale Welt und wie kann das erstellte Weltmodell an die sich verändernde reale Welt angepaßt werden.

2. Methoden und Systeme der KI: ein Überblick

Ein Überblick über die innerhalb der KI behandelten Themengebiete kann unter zwei verschiedenen Gesichtspunkten gegeben werden: zum einen unter dem Aspekt der betrachteten Anwendungsgebiete und der entwickelten Systeme sowie zum anderen unter dem Aspekt der verwendeten bzw. entwickelten Methoden.

2.1. Anwendungsgebiete und Systeme der KI

Im Rahmen der KI lassen sich im wesentlichen folgende Anwendungsgebiete unterscheiden:

- **Expertensysteme:**

Von den im folgenden betrachteten Anwendungsgebieten ist das Gebiet der Expertensysteme dasjenige, das bisher den breitesten kommerziellen Einsatz erreicht hat. Expertensysteme kann man dabei als Systeme charakterisieren, die das Wissen und Problemlösungsverhalten eines Experten auf einem festgelegten Anwendungsbereich simulieren. Expertensysteme werden im Abschnitt 4 noch näher betrachtet werden.

- **Deduktionssysteme:**

Deduktionssysteme befassen sich mit der Fragestellung, wie mit maschinellen Methoden logische Schlußfolgerungen durchgeführt werden können. Einsatz finden Deduktionssysteme z.B. beim automatischen Beweisen oder als Inferenzkomponenten wissensbasierter Systeme.

- **Bildverstehen:**

Bildverstehen befaßt sich mit der Problematik, Bilder zu interpretieren, die von (Fernseh-)Kameras geliefert werden. Ziel ist dabei die Erkennung von Objekten wie z.B. Werkstücken. Bildverstehen ist ein Anwendungsgebiet, das sehr stark mit dem Robotikgebiet zusammenhängt, da die Objekterkennung ein wesentlicher Aspekt beim Einsatz von Robotern ist.

- **Robotik:**

Robotik beschäftigt sich mit der Entwicklung von intelligenten Handhabungssystemen z.B. für das Setzen von Schweißpunkten für eine Karosserie. Ziel ist die Entwicklung autonomer Roboter, die sich in ihrer Umwelt selbständig bewegen und damit auch selbständig operieren können.

- **Natürlichsprachliche Systeme:**

Das Gebiet "Natürlichsprachliche Systeme" beschäftigt sich mit der Entwicklung von Methoden, mit denen der Bedeutungsgehalt einzelner Sätze oder ganzer Texte erfaßt werden kann. Kernproblem ist dabei der Aufbau einer entsprechenden Bedeutungsrepräsentation, die maschinell verarbeitet werden kann. Natürlichsprachliche Systeme lassen sich unterteilen in Dialogsysteme, Textverstehendesysteme und Übersetzungssysteme.

Generelle Voraussetzung für intelligentes Sprachverstehen ist die Bereitstellung von Weltwissen in der Wissensbasis des natürlichsprachlichen Systems. So kann z.B. die in Abbildung 2 dargestellte unterschiedliche Aufklärung der Referenzen des Personalpronomens "er" nur dann von einem natürlichsprachlichen System korrekt durchgeführt werden, wenn es Wissen über die Eigenschaften von Koffern und Tischen besitzt.

Referenzen

(1) Hans stellt den Koffer auf den Tisch.

Er rutschte herunter, weil er schief war.

(2) Hans stellt den Koffer auf den Tisch.

Er brach zusammen, weil er schwer war.

Abb. 2: Weltwissen und Referenzaufklärung

Nachdem wir nun die verschiedenen Anwendungsgebiete der KI betrachtet haben, wollen wir im folgenden die primären methodischen Gebiete der KI diskutieren.

2.2. Methoden der KI

Unter methodischen Gesichtspunkten lassen sich im wesentlichen fünf Kerngebiete unterscheiden:

- **Wissensrepräsentation:**

Dieses Kerngebiet beschäftigt sich mit den Techniken zur computerinternen Darstellung von Wissen. Wir werden dieses Gebiet in Abschnitt 3 noch näher betrachten.

- **Problemlösen und informelles Schließen:**

Dieses Gebiet beschäftigt sich mit der Nachbildung menschlichen Problemlösungsverhaltens sowie der Entwicklung von Schlußverfahren, die nicht nur streng logischen Schlußfolgerungen entsprechen, sondern auch informellen Schlußweisen, die insbesondere von Menschen typischerweise angewendet werden ("Default Reasoning"). Ein Beispiel für eine derartige Schlußweise ist folgende Default-Regel: "Wenn eine Person x ihren Arbeitsplatz in der Stadt y hat, dann wohnt die Person x auch in y oder in der Umgebung von y".

- **Heuristisches Suchen:**

Problemlösen läßt sich in vielen Fällen als Suche in einem geeigneten Zustandsraum beschreiben. Da in realistischen Anwendungen die Anzahl der verschiedenen Zustände astronomisch hoch ist, werden Verfahren zur Problemlösung benötigt, bei denen nicht alle Möglichkeiten überprüft werden müssen, sondern vielmehr auf Grund sogenannter Heuristiken bestimmte Teile des Zustandsraumes unberücksichtigt gelassen werden können.

- **Planen:**

Das Planen von komplexen Handlungen ist ein weiteres methodisches Kerngebiet der KI. Problemstellung ist dabei die geeignete Zusammensetzung vorgegebener primitiver Bausteine zu komplexen Handlungsabläufen. Beispiel hierfür ist die Planung der Bewegung eines Greifarmes eines Roboters.

- **Maschinelles Lernen:**

Maschinelles Lernen befaßt sich mit Verfahren zur automatischen Erkennung von Gesetzmäßigkeiten in einem gegebenen Daten- bzw. Wissensbestand. Derartige Verfahren sind insbesondere auch relevant in Hinblick auf die Unterstützung des Wissenserwerbsprozesses z.B. bei der Entwicklung von Expertensystemen.

3. Wissensrepräsentation

Das Gebiet "Wissensrepräsentation" beschäftigt sich mit der Frage, wie innerhalb eines KI-Systems Wissen über einen bestimmten Gegenstandsbereich (= Weltwissen) dargestellt werden kann. Dabei ist zwischen ver-

schiedenen Arten von Wissen, die zur Beschreibung eines Gegenstandsbereiches benötigt werden, zu unterscheiden. Zur Darstellung eines derartigen Modells der realen Welt wurden in der KI eine Vielzahl von Formalismen (Wissenrepräsentationssprachen) entwickelt.

3.1. Verschiedene Arten von Wissen

Bei näherer Betrachtung verschiedener Gegenstandsbereiche, z.B. Finanzwesen oder Medizin, zeigt es sich, daß für einen bestimmten Gegenstandsbereich unterschiedliche Arten von Wissen zu unterscheiden sind. Dabei können auf einen bestimmten Sachverhalt gleichzeitig mehrere der nachfolgend aufgeführten Merkmale zutreffen.

- **Fakten und Regeln:**

Für einen Gegenstandsbereich werden Zustände, z.B. "Sokrates ist ein Mensch" durch Fakten wiedergegeben. Regelhafte Zusammenhänge, z.B. "Alle Menschen sind sterblich" werden durch Regeln dargestellt. Das über einen Gegenstandsbereich vorliegende Wissen kann also in eine Menge von Fakten und in eine Menge von Regeln unterteilt werden. Dabei lassen sich Regeln dazu benutzen, neue Fakten abzuleiten

- **Explizites und implizites Wissen:**

Das in einer Wissensbasis gespeicherte Wissen repräsentiert Wissen über einen Gegenstandsbereich, das dem System explizit bekannt ist. Durch die Anwendung von Regeln auf explizit vorhandene Fakten kann Wissen, das in einem bestimmten Zustand der Wissensbasis nur implizit vorhanden ist, explizit gemacht werden.

- **Vollständiges und unvollständiges Wissen:**

Im allgemeinen ist das über einen Gegenstandsbereich im KI-System abgelegte Wissen unvollständig, d.h. nur ein Teil des Wissens, das für den vorliegenden Gegenstandsbereich von Bedeutung ist, wurde in der Wissensbasis abgelegt. In diesem Zusammenhang sind die Begriffe "Closed World Assumption" und "Open World Assumption" von Bedeutung. Die Closed World Assumption (= Annahme einer geschlossenen Welt) besagt, daß Fakten die nicht als wahr bekannt sind, als falsch angenommen werden.

Wenn wir annehmen, daß unsere Wissensbasis aus den Fakten

"Müller ist Professor."

"Maier ist Professor."

besteht, dann wird die Anfrage an das wissensbasierte System

"Ist Schulze Professor?"

unter Verwendung der Closed World Assumption "Schulze ist kein Professor" beantwortet, während unter Verwendung der Open World Assumption die Antwort lautet: "Es ist nicht bekannt, ob Schulze Professor ist."

Typischerweise arbeiten KI-Systeme mit der Open World Assumption, Datenbanksysteme dagegen mit der Closed World Assumption.

- Präzises und vages Wissen:

Bei der Abbildung von Gegenstandsbereichen liegt Wissen oft nur in vager Form vor. Die Aussage "Abteilung X hat acht Mitarbeiter" ist ein Beispiel für präzises Wissen, dagegen läßt die Aussage "Abteilung X hat viele Mitarbeiter" offen, ob diese Abteilung beispielsweise zehn oder fünfzig Mitarbeiter hat.

- Sicheres und unsicheres Wissen:

Nicht alles Wissen, das über einen Gegenstandsbereich vorliegt, ist absolut sicheres Wissen. Meist ist ein Teil des Wissens mit einer bestimmten Unsicherheit behaftet. Beispielsweise ist in der Aussage "Die Besprechung wird voraussichtlich am Montag stattfinden" die Zeitangabe unsicher.

- Default-Wissen:

Default-Wissen ist Wissen, das in den meisten, aber nicht in allen Fällen zutrifft. Solange kein anderes Wissen bekannt ist, wird Default-Wissen als gültig betrachtet. Ein Beispiel für Default-Wissen ist die Regel:

"Vögel können fliegen."

Sie trifft auf die meisten Vögel zu, z.B. aber nicht auf Pinguine.

- Meta-Wissen:

Meta-Wissen beschreibt Eigenschaften des in der Wissensbasis abgelegten Wissens und stellt damit weitere Möglichkeiten zur Ableitung expliziten Wissens zur Verfügung. Ein Beispiel für Meta-Wissen ist die Aussage "Die Vorgesetzten-Beziehung ist transitiv". Wenn wir wissen, daß Müller der Vorgesetzte von Maier ist und Schulze der Vorgesetzte von Müller, so kann aufgrund des Meta-Wissens abgeleitet werden, daß Schulze auch der Vorgesetzte von Maier ist.

3.2. Formalismen zur Wissensrepräsentation

Ansätze zur Wissensrepräsentation lassen sich in zwei Klassen einteilen: deklarative und prozedurale Ansätze. Deklarative Ansätze beschreiben Sachverhalte unabhängig von den Methoden zur Anwendung dieses Wissens. Es existiert damit eine strenge Trennung zwischen Daten und Verarbeitung. Prozedurale Ansätze enthalten zusätzlich Informationen zur Anwendung und Verknüpfung von Wissen.

- Prädikatenlogik:

Die Prädikatenlogik ist das klassische Beispiel für die deklarative Repräsentation von Wissen. Hierbei werden Prädikate zusammen mit Argumenten zur Repräsentation von Wissen verwendet. Wenn wir beispielsweise das Faktum "Sokrates ist ein Mensch" darstellen wollen, so können wir unter Verwendung des Prädiktes "Mensch" sowie des Argumentes "Sokrates" diesen Sachverhalt durch "Mensch (Sokrates)" ausdrücken. Eine Schwierigkeit beim Verwenden der Prädikatenlogik besteht darin, die richtige Auswahl von Prädikaten zu treffen. So könnte derselbe Sachverhalt z.B. unter Verwendung des zweistelligen Prädikats "Ist-Exemplar-von" auch durch "Ist-Exemplar-von (Sokrates, Mensch)" repräsentiert werden.

Der größte Vorteil der Prädikatenlogik liegt darin, daß in ihr wohldefinierte Regeln zur Ableitung von explizitem Wissen existieren.

- Semantische Netze:

Semantische Netze sind eine weitere Form der deklarativen Wissensrepräsentation, die große Verbreitung gefunden hat.

Semantische Netze verwenden Knoten zur Darstellung von Objekten sowie gerichtete Verbindungslinien (Kanten) zur Darstellung von Beziehungen zwischen diesen Knoten. Wenn wir beispielsweise darstellen wollen, daß Sokrates und Plato Menschen sind, so könnte man das in einem semantischen Netz wie in Abbildung 3 darstellen.

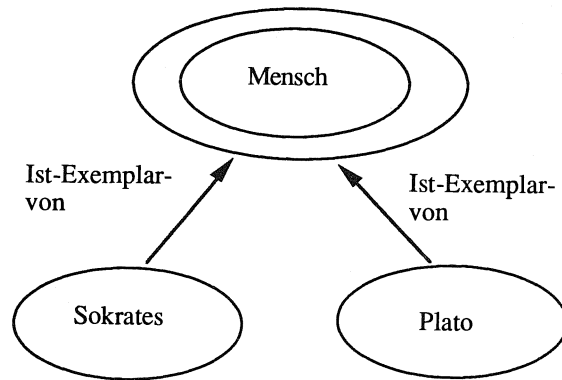


Abb. 3: Beispiel eines semantischen Netzes

Vorteilhaft bei der Verwendung semantischer Netze ist die Tatsache, daß wichtige Beziehungen zwischen Objekten durch das Einführen entsprechender Kanten deutlich gemacht werden können. D.h. relevantes Wissen über ein gegebenes Objekt läßt sich dadurch finden, daß man die Kanten verfolgt, die von den betreffenden Knoten ausgehen. Wie bei der Prädikatenlogik besteht auch hier ein wesentliches Problem in der Auswahl geeigneter Knoten und Kanten, da diese die elementaren Bausteine für die Darstellung eines Gegenstandsbereiches sind.

Typische Beziehungen, die in einem semantischen Netz als elementare Bausteine verwendet werden, sind zum Beispiel "Ist-Exemplar-von", "Hat-Teil" oder "is-a". Die Beziehung "is-a" besagt, daß eine (Objekt-) Klasse allgemeiner ist als eine andere. So wird durch das semantische Netz in Abbildung 4 ausgedrückt, daß Professoren und Studenten jeweils Mensch sind. Eine wichtige Eigenschaft der "is-a Beziehung" ist die Vererbung von Eigenschaften der allgemeineren Klasse auf die speziellere. So könnte in unserem Beispiel die Eigenschaft, daß Men-

schen ein Alter haben, entlang der "is-a Kante" auf Professoren und Studenten vererbt werden. Auf diese Weise wird eine Mehrfach-Darstellung desselben Wissens vermieden.

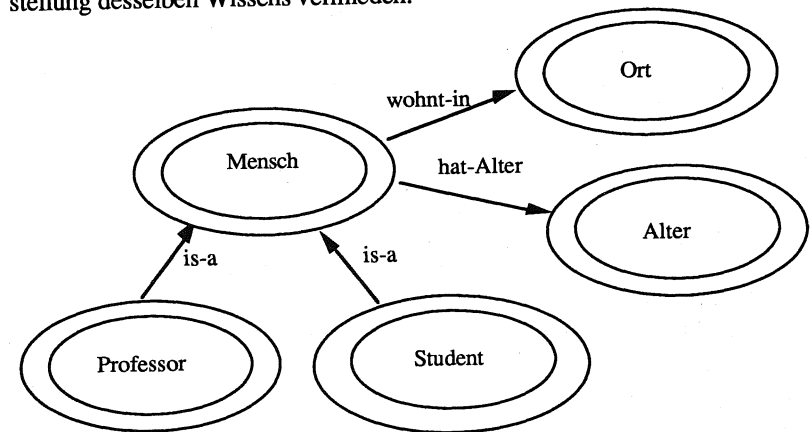


Abb. 4: Vererbung in Semantischen Netzen

- Frame-Repräsentation:

Die Frame-Repräsentation ist ein Ansatz zur Wissensrepräsentation, bei der durch das Zusammenfassen von Wissen zu begrifflichen Einheiten (Objekten) die objektorientierte Strukturierung von Wissen im Vordergrund steht. Hierzu wird die Menge von Eigenschaften, die auf ein Objekt zutreffen, zu einem Frame gebündelt, wobei jede Eigenschaft durch einen sogenannten SLOT repräsentiert wird. Jeder SLOT wird durch einen Namen sowie eine Wertangabe beschrieben. Im allgemeinen wird in einem Frame-System zwischen der Beschreibung einer Objektklasse und der Beschreibung individueller Objekte unterschieden. Ein Beispiel einer Objektbeschreibung ist der nachfolgend aufgeführte Frame "Mensch", der festlegt, daß Menschen durch die Eigenschaften "Wohnort" und "Alter" beschrieben werden:

FRAME Mensch

SLOTS:

hat-Alter: Alter

wohnt-in: Ort

- Produktionssysteme:

Produktionssysteme sind ein prozeduraler Formalismus zur Wissensrepräsentation, bei dem die Wissensbasis aus einer Menge von Fakten und Regeln besteht, wobei die Regeln durch sogenannte Produktionsregeln angegeben werden. Eine Produktionsregel hat dabei folgende Form:

WENN Bedingung DANN Aktion

Dabei ist eine in der Wissensbasis vorhandene Produktionsregel anwendbar, wenn der aktuelle Zustand der Wissensbasis (beschrieben durch die Menge der Fakten) die Bedingung der Produktionsregel erfüllt. Anwenden der Regel bedeutet das Ausführen der Aktion und damit das Erzeugen eines neuen Zustands der Wissensbasis. Ein Beispiel für eine Produktionsregel ist:

WENN Temperatur (Raum) KLEINER 20
DANN Füge-hinzu (Kalt(Raum))

Wesentlicher Vorteil von Produktionssystemen ist der modulare Aufbau der Wissensbasis, da die einzelnen Produktionsregeln weitgehend unabhängig voneinander sind und damit eine neue Regel leicht in eine vorhandene Wissensbasis eingefügt werden kann.

4. Expertensysteme

Expertensysteme sind wissensbasierte Systeme, die Expertenwissen über ein bestimmtes Anwendungsgebiet enthalten und dieses Wissen benutzen, um eine von Endbenutzer formulierte Problemstellung zu lösen (siehe z.B. *Puppe 1988*).

Charakteristisch für Expertensysteme sind zum einen die Trennung des Wissens über den gegebenen Anwendungsbereich von der Problemlösungsstrategie und der Dialogsteuerung, zum anderen die Fähigkeit, den gefundenen Lösungsweg erklären zu können.

Eine typische Architektur für Expertensysteme ist in Abbildung 5 dargestellt. Die Problemlösungskomponente verarbeitet das in der

Wissensbasis gespeicherte Wissen, um zu einer gegebenen Problemstellung eine Lösung zu finden. Dabei wird der Problemlösungsprozeß durch die in die Problemlösungskomponente eingebaute(n) Strategie(n) gesteuert.

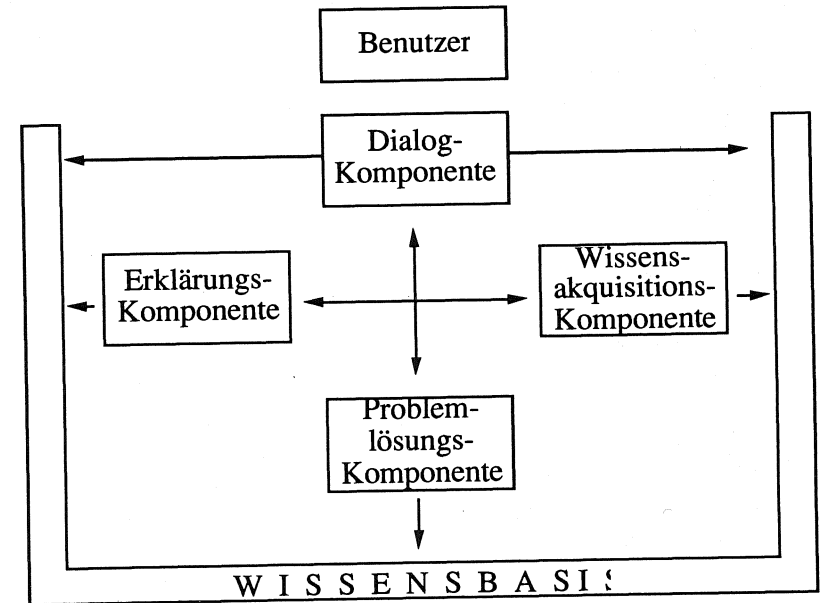


Abb. 5: Architektur eines Expertensystems

Die Erklärungskomponente hat die Aufgabe, dem Endbenutzer eines Expertensystems die gefundene Problemlösung zu "erklären", damit dieser sie überprüfen kann. Hierzu muß die Erklärungskomponente eine Analyse der Verarbeitungsschritte durchführen, die zur Problemlösung geführt haben. Problem ist dabei die Aufbereitung, z.B. Verdichtung, der Informationen für den Benutzer, so daß dieser auch in der Lage ist, diese zu verstehen.

Die Wissensakquisitionskomponente hat die Aufgabe, den Experten sowie den Wissensingenieur bei der Erhebung des relevanten Wissens über ein Anwendungsgebiet sowie bei dessen Formalisierung zu unter-

stützen. Dabei kommt insbesondere im Rahmen der Wissenserhebung der Interaktion zwischen Experte und Wissensingenieur eine besondere Bedeutung zu.

Die Weiterentwicklung von Expertensystemtechniken zielt insbesondere auf die Erhöhung der Ausdruckskraft der verwendeten Wissensrepräsentationsformalismen sowie auf die Einbeziehung von Weltwissen zusätzlich zum anwendungsspezifischen Wissen ab. Darüber hinaus ist auch die Verbesserung der Erklärungskomponente z.B. durch die Einbeziehung von Benutzermodellen von Bedeutung.

5. Literaturverzeichnis

[Habel 1989]

Habel, C.: KI: Woher kommt sie, wo steht sie, wohin geht sie?
in: v. Luck (ed): Künstliche Intelligenz, 7. Frühjahrsschule (KIFS-89),
Günne, Informatik-Fachberichte 203, Springer Verlag, 1989

[Lehmann 1989]

Lehmann, E.: Wissensrepräsentation
in: v. Luck (ed): Künstliche Intelligenz, 7. Frühjahrsschule (KIFS-89),
Günne, Informatik-Fachberichte 203, Springer Verlag, 1989

[Puppe 1988]

Puppe, F.: Einführung in Expertensysteme, Springer Verlag, 1988

Bericht der Institutsleitung

Wolffried Stucky
Universität Karlsruhe

Aufgaben des Instituts

Das Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren (AIFB) gehört seit seiner Gründung im Jahre 1971 zur Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Karlsruhe. Diese Fakultät bietet die Studiengänge Volkswirtschaftslehre (für ca. 10% der Studierenden) sowie Wirtschaftsingenieurwesen in den drei Studienrichtungen Informatik/Operations Research (IOR), Unternehmensplanung (UPI) und Versicherung (Vers) an. Das Institut ist verantwortlich für die Vertretung des Faches Angewandte Informatik in Forschung und Lehre in dieser Fakultät, insbesondere also für die Lehre im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen. Außerdem ist es verantwortlich für große Teile der Lehre im Fach Angewandte Informatik für die Studiengänge Wirtschaftsmathematik und Technomathematik der Fakultät für Mathematik.

Ich werde in meinem folgenden Vortrag eingehen auf die Punkte

- I Lehre und Ausbildung
- II Personelle Entwicklung
- III Belastungskennzahlen
- IV Forschung
- V Zusammenarbeit mit anderen Institutionen
- VI Neue Entwicklungen und Pläne

I Lehre und Ausbildung

Das Fach Informatik bzw. Angewandte Informatik ist in der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften insbesondere im Studiengang des Wirtschaftsingenieurwesens vertreten. Gemittelt über alle drei Studienrichtungen ergibt sich ein Lehranteil von etwa 20%. Darüber hinaus ist das Institut

beteiligt bei der Ausbildung im Fach Angewandte Informatik in den Studiengängen der Fakultät für Mathematik, und zwar im Studiengang Wirtschaftsmathematik mit ca. 15%, im Studiengang Technomathematik mit ca. 5%. Somit kann man sagen, daß das Institut AIFB insgesamt 20% aller Wirtschaftsingenieure, 15% aller Wirtschaftsmathematiker und 5% aller Technomathematiker als sogenannte Vollzeitstudenten betreut. In Abbildung 1 ist die Entwicklung der Studentenzahlen in den letzten Jahren, beginnend mit dem Wintersemester (WS) 86/87 bis zum WS 89/90 dargestellt, und zwar einmal die Gesamtzahl der Studierenden in der Universität, dann die jeweiligen Zahlen der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, der Fakultät für Informatik und der, nach obigem Schema errechneten, Vollzeitstudenten des Instituts. (Insbesondere ist bei den folgenden Aussagen ein Vergleich des Instituts mit der Fakultät für Informatik von Interesse und von Bedeutung, da im wesentlichen dieselben Aufgaben in der Lehre und in der Forschung zu erfüllen sind.)

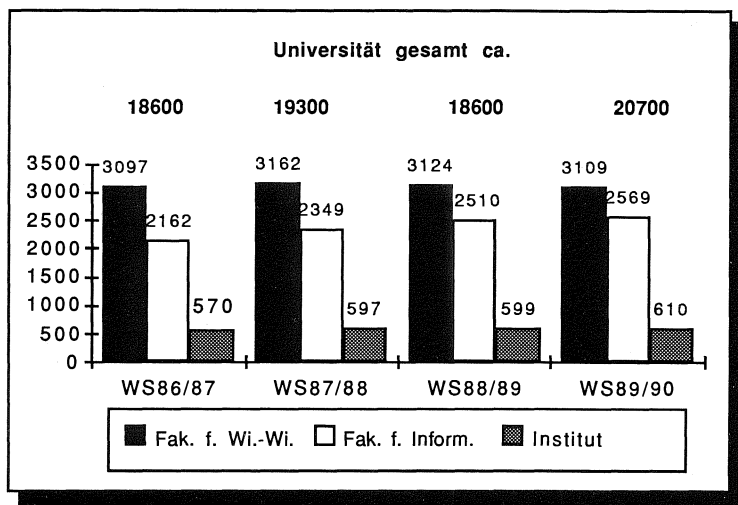


Abb. 1: Studentenzahlen

In Abbildung 2 sind die Anzahlen der jeweiligen neu immatrikulierten Studenten gegenübergestellt, getrennt nach den Studiengängen Wirtschaftsingenieurwesen, Wirtschaftsmathematik, Informatik und den entsprechenden Anteilen, die auf das Institut AIFB entfallen. Für Wirtschaftsingenieure besteht ein

Numerus Clausus in Höhe von 315 Neuzulassungen bzw. ab dem WS 89/90 in Höhe von 375 Neuzulassungen (diese Erhöhung ist bedingt durch eine Sonderzuweisung von Stellen aus dem Hochschulsonderprogramm, dem sogenannten "Möllemann-Programm"). Diesen Zulassungszahlen stehen bei den Wirtschaftsingenieuren Bewerbungen von mehr als 1600 im WS 87/88 bzw. von über 1800 in den darauffolgenden Jahren gegenüber. Viele dieser Bewerber, die keine Zulassung für das Wirtschaftsingenieurstudium erhalten haben, wenden sich dem Studiengang der Wirtschaftsmathematik zu, da hier kein Numerus Clausus besteht, um vielleicht in einem späteren Semester zum Wirtschaftsingenieurstudium zu wechseln. Trotz Erhöhung des Numerus Clausus bei den Wirtschaftsingenieuren auf 375 kann man sehen, daß die Anzahl der Wirtschaftsmathematikstudenten erhalten bleibt. Dies bedeutet für das Institut AIFB, daß mit einer stetigen Erhöhung der Studentenzahlen zu rechnen ist. Bei der Fakultät für Informatik ist anzumerken, daß hier kein NC besteht, sondern daß die Studenten im Zuge eines bundesweiten Verteilungsverfahrens auf die einzelnen Universitäten zugewiesen werden.

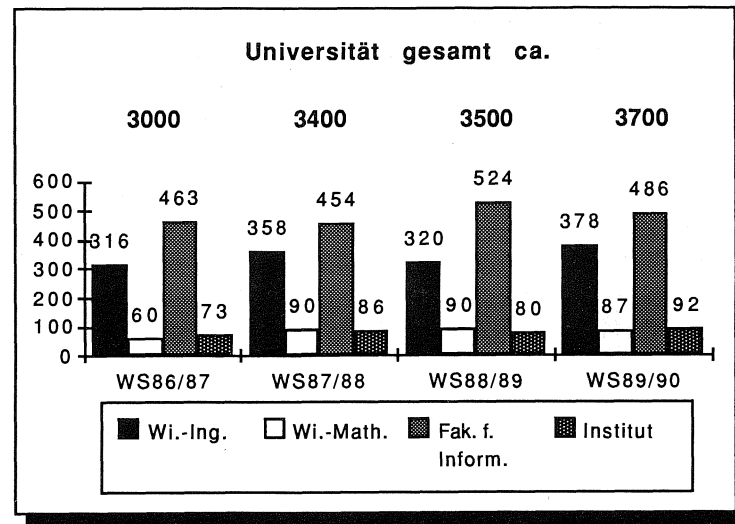


Abb. 2: Studentenzahlen - Neuzulassungen

Nun zu den Lehrveranstaltungen, die das Institut regelmäßig anbietet. Wir können diese Lehrveranstaltungen einteilen in die Bereiche *Programmierung* mit den Pflichtveranstaltungen (für alle Studenten des

Wirtschaftsingenieurwesens) *Programmieren I* im Grundstudium und *Kommerzielles Programmieren* im Hauptstudium, den dreisemestrigen Zyklus *Einführung in die Informatik A,B,C* im Grundstudium und die verschiedenen Veranstaltungen des Hauptstudiums. Die Veranstaltung *Programmieren I* wurde im WS 87/88 von Pascal und Apple-II-Systemen umgestellt auf Modula-2 und Mac-II-Systeme, was mit sehr viel Aufwand verbunden war. Die Veranstaltung *Kommerzielles Programmieren* basiert auf der Programmiersprache COBOL, früher wurde alternativ (im Wechsel Sommersemester/Wintersemester) auch APL angeboten. Für die Zukunft geplant ist alternativ die Sprache C und/oder eine 4GL-Sprache. Im Grundstudium (für die Studienrichtung UPI leider erst im Hauptstudium) wird ein dreisemestriger Vorlesungszyklus *Einführung in die Informatik* angeboten: Teil A befaßt sich mit dem Weg *Vom Problem zum Algorithmus, vom Algorithmus zum Programm* und enthält weiterführende Konzepte problemorientierter Programmiersprachen (da die Programmiersprache Modula 2 bereits bekannt ist), Teil B befaßt sich mit Rechneraufbau, -architektur und -organisation sowie mit Konzepten der technischen Realisierung und mit Inhalt, Aufbau und Organisation systemnaher Software, Teil C befaßt sich mit theoretischen Grundlagen der Informatik.

Die Vorlesungen des Hauptstudiums sind in die Gebiete *Programmierung, Informationssysteme, Grundlagen/Systemstrukturen* und *Büroautomatisierung* eingeteilt. Eine Prüfung im Fach Informatik im Hauptstudium besteht aus je einer Klausur über zwei verschiedene Gebiete, jedes Gebiet im Umfang von etwa sechs Semesterwochenstunden. Zu den oben genannten vier Gebieten kommt noch das Gebiet *Anwendungen der Informatik in den Wirtschaftswissenschaften* hinzu (welches seit Jahren als "im Aufbau befindlich" bezeichnet wird, wegen Personalmangel), sowie *Anwendungen der Informatik in den Ingenieurwissenschaften*. Hier greifen wir auf das Angebot der Ingenieurfakultäten bzw. der Fakultät für Informatik zurück. Zur Zeit gibt es die Ausrichtungen *Automatisierung in der Fertigungstechnik* (verantwortlich: Prof. Rembold, Fakultät für Informatik), *Rechnergestützte Automatisierung* (Prof. Schweizer, Fakultät für Informatik), *Rechneranwendung im Maschinenbau* (Prof. Grabowski, Fakultät für Maschinenbau) und *Robotik* (Prof. Dillmann, Fakultät für Informatik). Hinzu kommen Seminare und auch

Rechnerpraktika aus allen Bereichen, die am Institut in Forschung und Lehre vertreten sind.

Über das Jahr verteilt, im wesentlichen jeweils am Ende der Vorlesungszeit des Winter- und Sommersemesters, finden etwa 2000 bis 2500 Prüfungen in Form von Klausuren statt. Hiervon entfallen etwa 1000 auf das Gebiet der Programmierung, wo übrigens die Klausuren direkt am Rechner geschrieben werden. Etwa 450 entfallen auf Prüfungen im Grundstudium, etwa 800 bis 900 auf Prüfungen des Hauptstudiums.

In den Prüfungsbereich gehört auch das Anfertigen der Diplomarbeit. Die zahlenmäßige Entwicklung der Absolventen unseres Institutes, d.h. der abgeschlossenen Diplomarbeiten, beginnend mit dem Jahr 1971, ist in Abbildung 3 dargestellt. In Abbildung 4 ist die Anzahl der Absolventen unseres Institutes denen der Fakultät für Informatik gegenübergestellt. Hierbei ist vielleicht von Interesse, daß - bezogen auf die Anzahl der Professoren und wissenschaftlichen Mitarbeiter - die Fakultät für Informatik etwa um den Faktor sechs größer ist als das Institut AIFB.

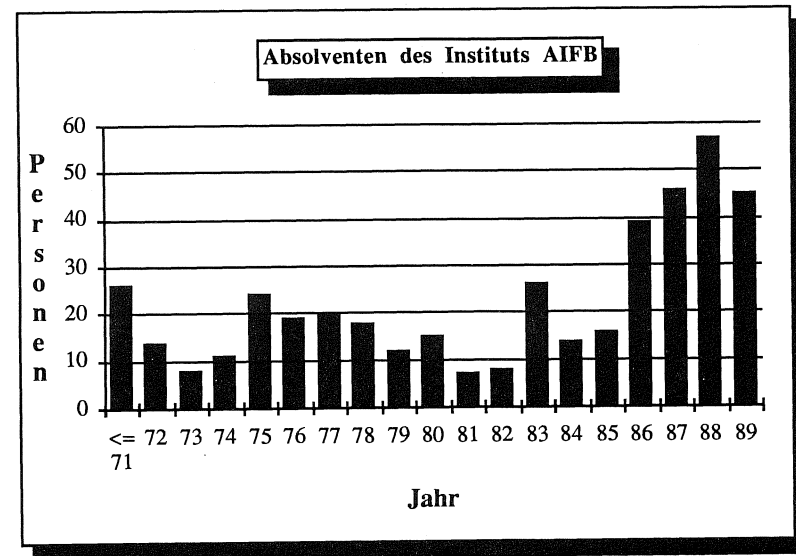


Abb. 3: Absolventen des Institutes AIFB

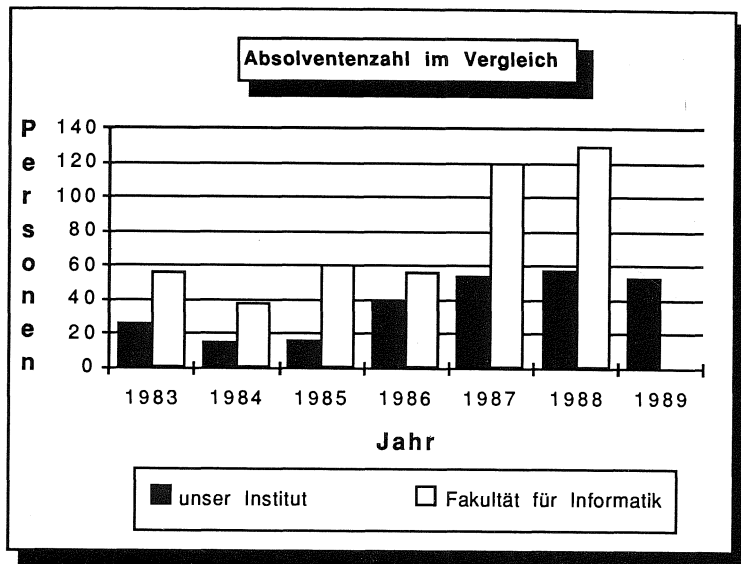


Abb. 4: Absolventen im Vergleich

Neben diesen Pflichtaktivitäten in Lehre und Ausbildung fanden weitere Aktivitäten im Rahmen der sogenannten Weiterbildung statt: Mit der *Technischen Akademie Mannheim e.V.* wurden mehrere DV-Seminare für Fachleute und Führungskräfte mit Themen aus den Bereichen Systemanalyse und Entwurf, relationale Datenbanken, Datenentwurf u.ä. durchgeführt, mit der *ISB GmbH Karlsruhe* ein dreitägiges Seminar über relationale Datenbanken und Datenbankentwurf im Dezember 1989, mit dem *Institut für Lehrer-Fort- und -Weiterbildung (ILF) Mainz* Ausbildung von Lehrern mit dem Ziel, die Qualifikation für die Unterrichtserlaubnis im Gymnasium für das Fach Informatik zu erwerben. Im Rahmen dieser Ausbildung absolvieren Lehrer zwei bzw. vier Ein-Wochen-Kurse über Informatik, mehrere Studientage und erledigen mehrere Hausarbeiten. Danach können sie nach einer ersten Prüfung die Unterrichtserlaubnis für das Fach Informatik im Gymnasium für die Sekundarstufe 1 (d.h. bis einschließlich zur Klasse 10), nach einer weiteren Prüfung für die Sekundarstufe 2 (d.h. bis zum Abitur) erwerben. - Dieses gesamte Ausbildungsprogramm in Informatik am *ILF Mainz* er-

streckte sich über die Jahre 1986 bis 1989. In diesem Zeitraum absolvierten etwa 80 Lehrer die erste, 50 Lehrer die zweite Prüfung.

Darüber hinaus waren Mitarbeiter des Institutes mehrfach im Rahmen von Lehraufträgen an der *Berufsakademie (BA) Karlsruhe* tätig. Die Zusammenarbeit mit der *BA Karlsruhe* wird sicher, und vielleicht sogar verstärkt, weitergehen, da unser langjähriger Institutsmitarbeiter Rudolf Krieger einem Ruf auf eine C3-Professur an die BA zum Januar 1990 folgen wird.

II Personelle Entwicklung

Die personelle Entwicklung des Institutes in den letzten beiden Jahren läßt sich am besten dadurch darstellen, daß ich zu verschiedenen Zeitpunkten den jeweiligen Stand charakterisiere.

Im September 1987 waren drei Professorenstellen am Institut (davon zwei Lehrstühle) besetzt, und zwar mit Thomas Ottmann, mir selbst und Hans Kleine Büning. Dazu kamen zehn wissenschaftliche Mitarbeiter auf Landesstellen (davon aus dem sog. Überlastprogramm zwei Stellen), weitere zehn wissenschaftliche Mitarbeiter aus Drittmitteln, d.h. aus Projekten mit der DFG, mit Unternehmen u.ä. Von zwei vorhandenen Technikerstellen waren eine, von zwei Stellen im Verwaltungsbereich beide besetzt. Neu zugewiesen war dem Institut aus dem sogenannten Fiebiger-Programm eine weitere C4-Professur, also ein Lehrstuhl Angewandte Informatik III. Dieses Fiebiger-Programm des Landes Baden-Württemberg sollte dazu dienen, einmal für den wissenschaftlichen Nachwuchs vorzeitig, d.h. vor Freiwerden entsprechender Professorenstellen, zusätzliche Professorenstellen zur Verfügung zu stellen; andererseits sollten aber auch überlastete Studiengänge dadurch entlastet werden. Die aus diesem Programm zugewiesenen Professorenstellen waren sogenannte "nackte" Stellen, d.h. ohne irgendwelche Stellen für weitere wissenschaftliche Mitarbeiter.

Im Oktober 1987 hatte sich die Situation dann schon grundlegend geändert. Der Lehrstuhl Angewandte Informatik I war verwaist, da Kollege Ottmann mit weiteren sechs Mitarbeitern einem Ruf an die

Universität Freiburg gefolgt war. Ebenfalls verwaist war die C3-Professur Angewandte Informatik durch den Weggang von Kleine Büning an die Universität/Gesamthochschule Duisburg mit insgesamt weiteren fünf Mitarbeitern. Außerdem wurde eine Stelle aus dem Überlastprogramm durch die Fakultät dem Institut nicht wieder zugewiesen, so daß auch dadurch eine weitere wissenschaftliche Mitarbeiterstelle entfiel. Somit waren von insgesamt vier Professorenstellen nun drei Professuren vakant. Für zwei dieser Professuren war bereits das Berufungsverfahren angelaufen (beide Berufungskommissionen standen unter dem Vorsitz von W. Stucky).

Im Laufe der nächsten beiden Jahre wurden nun diese Professorenstellen zumindest zeitweilig vertreten: der Lehrstuhl Angewandte Informatik I im WS 87/88 und im SS 88 durch Privatdozent Dr. Peter Widmayer, Hochschulassistent an unserem Institut, im WS 88/89 (Oktober 88 bis März 89) durch Privatdozent Dr. Johannes Brauer von der Universität/Gesamthochschule Siegen. Im SS 89 wurde dieser Lehrstuhl nicht vertreten, da wir einige Hoffnung hatten, diesen Lehrstuhl im Laufe des Sommersemesters besetzen zu können. Die C3-Professur wurde im WS 87/88 vertreten durch Dr. Kurt Sieber von der Universität Saarbrücken, seit April 1988 (SS 88) durch Privatdozent Dr. Jürgen Wolff von Gudenberg, Hochschulassistent am Institut für Angewandte Mathematik unserer Universität. Mit Beginn des jetzigen Semesters (WS 89/90) wird Dr. Wolff von Gudenberg den Lehrstuhl Angewandte Informatik I vertreten und in diesem Rahmen den viersemestrigen Einführungszyklus Programmieren I, Einführung in die Informatik A,B,C übernehmen.

Inzwischen waren auch Berufungslisten für die Lehrstühle Angewandte Informatik I und III durch die jeweiligen Berufungskommissionen erstellt. Nachdem Dr. Widmayer einen Ruf nach Karlsruhe auf die Nachfolge Ottmann abgelehnt und dem Ruf an die Universität Freiburg gefolgt war, wurden im Sommer 1989 Berufungsverhandlungen mit Prof. Dr. Jürgen Albert von der Universität Würzburg geführt. Diese Verhandlungen führten allerdings nicht zum Erfolg; Professor Albert konnte durch ein entsprechendes Gegenangebot der Universität Würzburg bzw. des Landes Bayern dazu bewogen werden, in Würzburg zu bleiben. Da die Berufsungsliste für die Nachfolge Ottmann nur

diese beiden Personen enthielt, war dadurch die Liste "geplatzt" (wie man so schön sagt), das ganze Berufungsverfahren muß nun neu aufgerollt werden. Zur selben Zeit wie Prof. Albert verhandelte auch Privatdozent Dr. Rudi Studer (Projektleiter LILOG im Wissenschaftlichen Zentrum der IBM in Stuttgart), der den Ruf auf den Lehrstuhl Angewandte Informatik III erhalten hatte. Dieser Lehrstuhl hatte im übrigen inzwischen seine "Herkunft" gewechselt, er gehörte jetzt nicht mehr zu dem Fiebiger-Programm, sondern zu dem sogenannten Hochschulsonderprogramm ("Möllemann-Programm", auf das ich an späterer Stelle noch einmal eingehen werde), mit dem eminenten Vorteil, daß nun auch Herrn Studer drei zusätzliche wissenschaftliche Mitarbeiterstellen und eine halbe Stelle im Verwaltungsbereich zugewiesen werden konnten. Dr. Studer hat inzwischen den Ruf auf diesen Lehrstuhl zum 1. November 1989 angenommen. Ich freue mich sehr darüber, und ich möchte ihn an dieser Stelle auch ganz herzlich als neuen Kollegen in unserem Institut willkommen heißen.

Die Fluktuation im Bereich der Professoren und der wissenschaftlichen Mitarbeiter ist in den nächsten beiden Abbildungen 5 und 6 etwas anschaulicher dargestellt.

Ein weiterer großer Verlust traf das Institut durch das Ausscheiden von Frau Uhtes, meiner langjährigen Sekretärin, zum 1. Juli 1989. Jeder, der sie kennengelernt hat - und das waren im Laufe der Jahre sehr viele, sowohl Mitarbeiter wie Kollegen und auch Studenten - kann die Größe dieses Verlustes vielleicht ebenfalls ermessen. Ich möchte Frau Uhtes an dieser Stelle meinen ganz herzlichen Dank für ihre langjährige, aufopferungsvolle Mitarbeit an meinem Lehrstuhl und im Institut aussprechen.

Im VT-Bereich (Verwaltungs- und technische Angestellte) ergibt sich insgesamt das folgende Bild: Die freie Technikerstelle konnte wiederbesetzt werden. Eine Verwaltungsstelle (Sekretärin am Lehrstuhl Angewandte Informatik I) wurde zum 1.1.1988 frei, konnte aber unmittelbar zumindest mit einer halben Kraft wiederbesetzt werden, und die Nachfolge von Frau Uhtes ist ebenfalls mit Wirkung vom 1.7.1989 wieder geregelt.

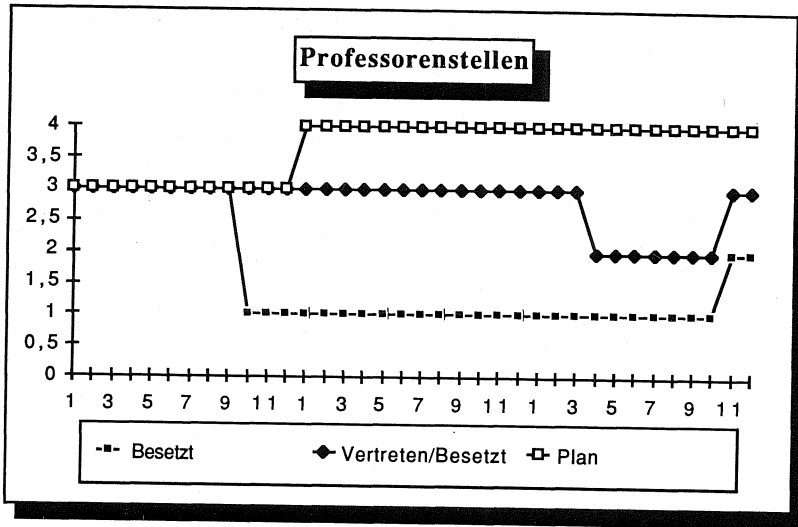


Abb. 5: Professorenstellen des Instituts AIFB

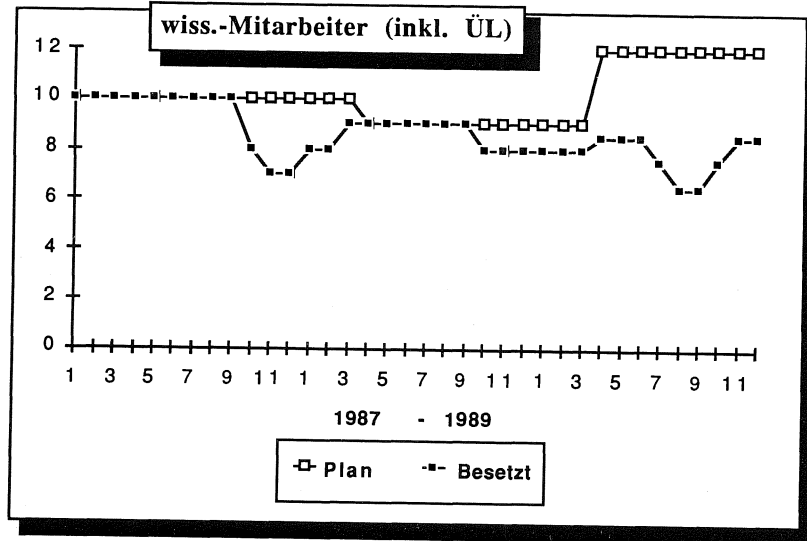


Abb. 6: Wissenschaftliche Mitarbeiter des Instituts AIFB

Insgesamt ergibt sich somit zum Stand November 1989 das in Abbildung 7 dargestellte Bild.

Personalstand des Instituts AIFB: November 1989

Lehrstuhl Angewandte Informatik I:
vakant; Vertretung: PD Dr. J. Wolff von Gudenberg

Lehrstuhl Angewandte Informatik II:
Prof. Dr. Wolffried Stucky

(aus Hochschul-Sonderprogramm:)
Lehrstuhl Angewandte Informatik III:
Prof. Dr. Rudi Studer

C3-Professur Angewandte Informatik:
vakant; keine Vertretung

12 wiss. Mitarbeiter (Landesstellen)
davon aus Überlastprogramm: 1
aus Hochschulsonderprogramm: 3
2 wiss. Mitarbeiter (Drittmittel, d.h. DFG, Projekte u.ä.)
2 T-Stellen (beide besetzt)
2,5 V-Stellen (alle besetzt)

3 vakante Professuren; 2 Berufungsverfahren laufen

Abb. 7: Personalstand des Instituts AIFB

Nach Lehre und Ausbildung sowie den Angaben zur personellen Entwicklung ist es nunmehr an der Zeit, etwas über die Belastung des Instituts in der Lehre zu sagen, wozu sich am besten die üblichen Belastungskennzahlen eignen.

III Belastungskennzahlen

Die Belastung in der Lehre kann, wie im Universitätsbereich üblich, durch gewisse *Belastungskennzahlen* charakterisiert werden. Dazu gehört einmal das sogenannte *Betreuungsverhältnis*, das ist das Verhältnis von Studenten zu Professoren bzw. von Studenten zu Lehrpersonen (wobei unter Lehrpersonen die Professoren und die wissenschaftlichen Mitarbeiter auf Landesstellen gemeint sind), zum anderen der durch die Lehrtätigkeit erzeugte *"Output"* des Instituts, gemessen durch das Verhältnis Absolventen zu Professoren bzw. Absolventen zu Lehrpersonen. Die das Institut betreffenden Kennzahlen möchte ich im folgenden den entsprechenden Kennzahlen der Universität insgesamt sowie den Fakultäten für Wirtschaftswissenschaften und Informatik gegenüberstellen.

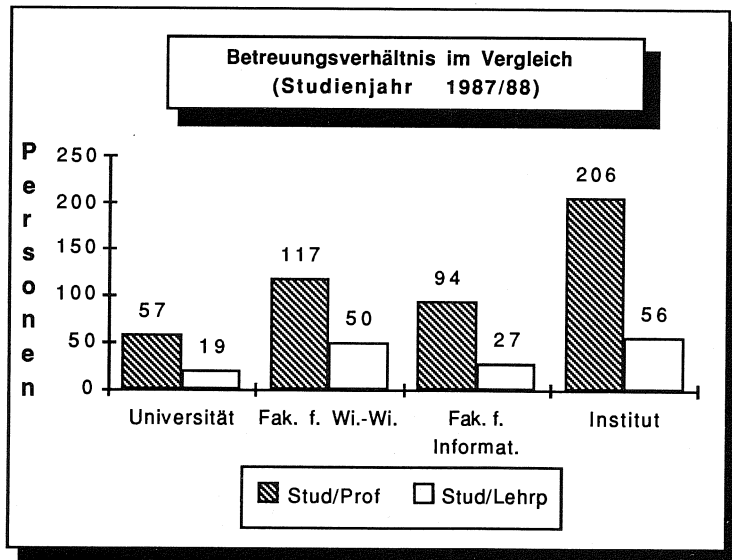


Abb. 8: Betreuungsverhältnis im Vergleich

In Abbildung 8 ist das Betreuungsverhältnis dargestellt, bezogen auf das Studienjahr 1987/88, da hierüber ausführliche Zahlen vorlagen bzw. mir zugänglich waren. (Die neuesten Zahlen für das WS 89/90 sind daneben in Klammer angegeben. Ob die Zahlen, die mir dabei zur

Verfügung standen, schon die ganz endgültigen sind, kann ich nicht mit Sicherheit sagen, aber es wird sich sicherlich nichts wesentliches mehr ändern.) Zu dem Betreuungsverhältnis Studenten zu Lehrpersonen sollte im übrigen noch angemerkt werden, daß der Wissenschaftsrat ein Verhältnis von 12:1 als sinnvoll erachtet.

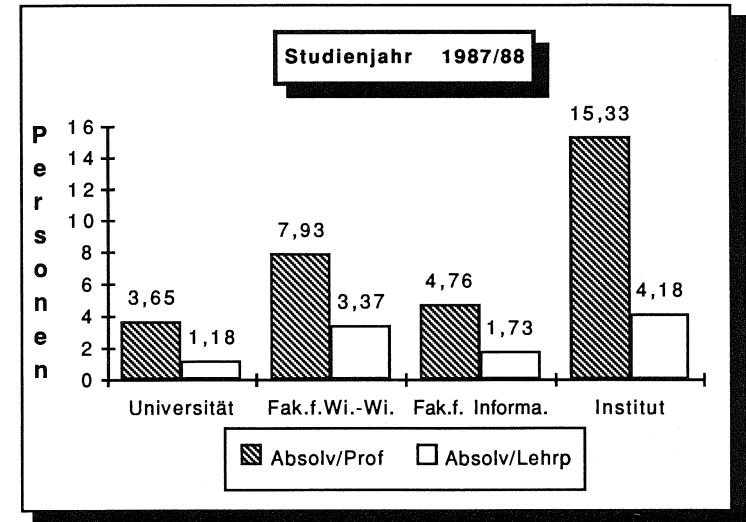


Abb. 9: Absolventenrelationen im Vergleich

Abbildung 9 enthält Zahlen darüber, was man als den eigentlichen "Output" von Institutionen, die in der Lehre tätig sind, ansehen kann: nämlich die Anzahl der Absolventen (d.h. Diplomanden bzw. Studenten, die in dem betreffenden Fachgebiet an der betreffenden Fakultät in dem betreffenden Institut ihre Diplomarbeit geschrieben haben), hier bezogen auf die jeweils planmäßig vorhandenen Professoren bzw. Lehrpersonen, mit denen dieses Lehrprogramm abgewickelt wurde. Ich glaube, hier braucht sich unser Institut in keiner Weise gegenüber der Universität insgesamt oder auch der Fakultät für Informatik zu verstecken! Beim Vergleich dieser Zahlen sollte darüber hinaus aber noch berücksichtigt werden, daß - wie unsere Universitätsspitze immer voller Stolz darstellt - sowohl die Universität insgesamt, insbesondere in den Ingenieurfakultäten, wie auch die Fakultät für Informatik sehr viele Drittmittel einwerben, aus

denen sehr viele weitere wissenschaftliche Mitarbeiter (über die Landesstellen hinaus) bezahlt werden können. Obwohl diese Mitarbeiter im Rahmen von Forschungsprojekten in der Regel ebenfalls Diplomanden betreuen, machen sich diese Drittmittel allerdings bei dem "Output" kaum bemerkbar.

IV Forschung und Entwicklung

Traditionell wurden bzw. werden an unserem Institut die folgenden Gebiete bearbeitet: Algorithmen und Datenstrukturen, insbesondere algorithmische Geometrie; Datenbank- und Informationssysteme; Wissensbasierte Systeme und Logik / Expertensysteme; Büroautomation; Computerunterstützung für die Lehre. Das erstgenannte Gebiet ist im Augenblick nicht mehr vertreten, bedingt durch den Weggang von Professor Ottmann und Privatdozent Widmayer und ihren Mitarbeitern nach Freiburg. Das dritte Gebiet war zeitweilig etwas verwaist, wird aber nunmehr durch Professor Studer und seine neueinstellenden Mitarbeiter wieder aufgebaut werden. Auf die einzelnen Forschungsprojekte in diesen Bereichen möchte ich an dieser Stelle nicht eingehen, hierzu verweise ich auf den jeweiligen Jahresbericht unseres Instituts.

Was den "Output" in diesem Bereich angeht, so könnte man zunächst rein quantitativ die Beiträge zu Zeitschriften und Tagungen, die Institutsberichte usw. abzählen und eine Statistik darüber vorlegen. Diese Zahlen habe ich hier, aber sie allein sind sicher nicht so sehr aussagekräftig, so daß ich an dieser Stelle darauf nicht weiter eingehen möchte. Von größerer Bedeutung halte ich, auch zahlenmäßig, die Anzahl der Bücher, die in einem Institut entstanden sind, die Anzahl der Habilitationen, die durchgeführt wurden, und auch die Anzahl der Promotionen.

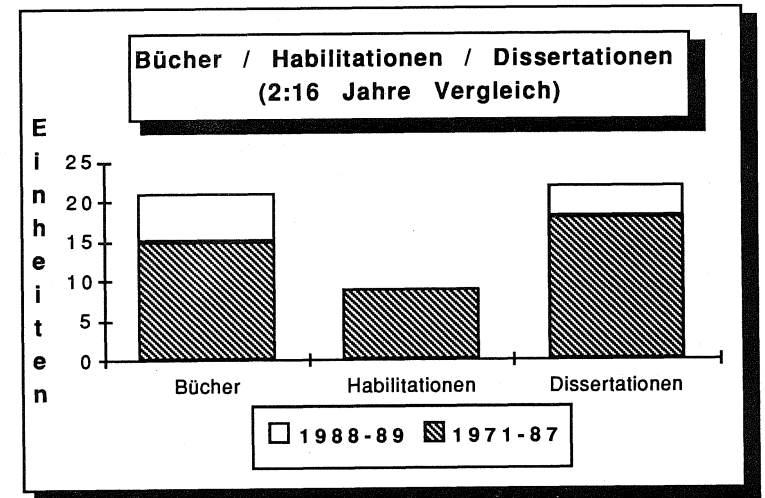


Abb. 10: Bücher / Habilitationen / Dissertationen

Eine Gegenüberstellung dieser Zahlen aus den Jahren 1971 bis 1987 und den letzten beiden Jahren 1988 bis 1989 ist in Abbildung 10 enthalten. Von weitergehendem Interesse scheint mir auch - weniger als die reinen Zahlen - die Art der Tagungen, auf denen die Ergebnisse der Institutsforschungsarbeiten vorgetragen wurden.

Eine Liste der internationalen Tagungen, auf denen in den letzten beiden Jahren (1988 und 1989) Vorträge gehalten wurden, enthält Abbildung 11.

Internationale Tagungen

15th Annual ACM Symposium on Principles of Programming Languages, San Diego, Ca., Jan. 1988

IEEE 4th International Conference on Data Engineering, Los Angeles, Ca., Feb. 1988 (2X)

1st International Conference on Extending Database Technology, Venedig, March 1988

ORSA-TIMS Joint Spring Conference, Washington, D. C., April 1988

ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Chicago, Ill., June 1988

CG'88 International Workshop on Computational Geometry, Würzburg, March 1988

2nd European EDIF Forum, Amsterdam, Oct. 1988

9th International Conference on Information Systems, Minneapolis, Minnesota, Dec. 1988

1st Nordic Conference on Advanced Systems Engineering, CASE '89, Kista, Stockholm, Sweden, May 1989.

11th World Computer Congress, IFIP'89, San Francisco, Ca., Aug./Sep. 1989

1st International Conference on Deductive and Object-Oriented Databases (DOOD 89), Kyoto, Japan, Dec. 1989

Abb. 11: Internationale Tagungen (1988 & 1989)

V Zusammenarbeit mit anderen Institutionen

Im Bereich der Wissenschaft

Das Institut unterhält rege Kontakte zu anderen Universitäten und Forschungseinrichtungen. Das zeigt ja z.B. auch die Herkunft der Vortragenden dieser beiden Tage. Weitere, insbesondere internationale Kontakte, sind sehr stark an Personen gebunden. Durch den erwähnten "Aderlaß" sind natürlich einige dieser Kontakte zunächst etwas abgebrochen, sie werden aber wieder aufgebaut, und es wird insbesondere im Zusammenhang mit den neuen Leuten, die hoffentlich bald das Institut bevölkern, auch neue Kontakte geben.

In der Wirtschaft ("Praxis")

Das Institut unterhält seit jeher recht umfangreiche Kontakte zu Unternehmen der Wirtschaft und Industrie, auch des Handwerks, und zu Einrichtungen der öffentlichen Verwaltung. Hier werden viele kleinere Projekte durchgeführt, insbesondere im Rahmen von Diplomarbeiten, bei denen jeweils ein wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts als Betreuer des Diplomanden und in beratender Funktion für das Unternehmen mitarbeitet. Ein ständiger Kontakt mit dem Unternehmen bzw. der dortigen Fachabteilung ist dabei von großer Bedeutung. Abbildung 12 enthält eine Liste der Unternehmen und Institutionen, mit denen in den letzten beiden Jahren solche Kontakte stattgefunden haben.

Zu einigen Unternehmen bestehen darüber hinaus teilweise recht starke Bindungen durch Kooperationsverträge, durch größere Projekte, bei denen simultan mehrere Diplomanden und Mitarbeiter tätig sind, und ähnliche Dinge. Hierzu gehören

-- im genossenschaftlichen Bereich die *Bausparkasse Schwäbisch Hall AG* sowie die *SGZ BANK Frankfurt/Karlsruhe*,

Bausparkasse Schwäbisch Hall AG, Schwäbisch Hall
 Robert Bosch GmbH, Geschäftsbereich Elektrowerkzeuge,
 Leinfelden
 CTM Computertechnik Müller GmbH, Konstanz
 C+P Computer und Programme GmbH, Insheim
 Daimler Benz AG, Werk Wörth
 Druckerei Braun, Karlsruhe
 HP Hewlett Packard GmbH, Böblingen
 IBM Deutschland GmbH, Stuttgart
 IBM European Network Center (ENC), Heidelberg
 INOVIS GmbH u. Co computergestützte Informationssysteme,
 Karlsruhe
 ISB Institut für Software-Entwicklung und EDV-Beratung GmbH,
 Karlsruhe
 Bernd Kappler, Architekturbüro, Brackenheim
 KfK Kernforschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe
 Jörg Knies Elektrotechnik, Worms
 Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU),
 Karlsruhe
 Lebenshilfe Einrichtungen gGmbH, Worms
 LITEF (Litton Technische Werke) der Hellige GmbH, Freiburg
 mtu Motoren- und Turbinen-Union Friedrichshafen GmbH,
 Friedrichshafen
 MVV Mannheimer Versorgungs- und Verkehrs-GmbH, Mannheim
 Nixdorf Computer AG, Niederlassung Ulm
 Norsk Forsvarsteknologi A/S, Kongsberg (Norwegen)
 Nova Data AG, Karlsbad.
 SAP GmbH Systeme Anwendungen Produkte in der Datenverarbei-
 tung, Walldorf
 SGZ BANK Südwestdeutsche Genossenschaft - Zentralbank AG,
 Frankfurt/Karlsruhe
 Siemens AG, Unternehmensbereich Energie- und Automatisierung-
 technik, Karlsruhe
 Siemens AG, Bereich Nachrichten- und Sicherungstechnik,
 ÖN Betrieb Bruchsal
 Siemens AG, Bereich Datentechnik, München
 Siemens AG, Zentrale Aufgaben Informationstechnik, München
 Software AG, Darmstadt
 Spectra Physics GmbH, Darmstadt
 Städtische Krankenanstalten Karlsruhe
 T.S.P. Unternehmensberatung Ges. f. Informationssysteme GmbH,
 Ettlingen
 Wohnheim e.V., Karlsruhe

Abb. 12: Liste der Unternehmen und Institutionen

- im Informatikbereich die Firmen *INOVIS GmbH & Co computergestützte Informationssysteme Karlsruhe*, *ISB Institut für Software-Entwicklung und EDV Beratung GmbH Karlsruhe* und *Nova Data AG Karlsbad*,
- im Bereich der öffentlichen Verwaltung die *Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) Karlsruhe*, die *Mannheimer Versorgungs- und Verkehrs-GmbH (MVV)* sowie die *Städtischen Krankenanstalten Karlsruhe*.

Mitarbeit in Fachgremien

Neben den oben erwähnten Kontakten zu Wissenschaft und Wirtschaft ist auch eine Mitarbeit in wissenschaftlichen Fachgremien insbesondere durch Professoren notwendig und wird vom Institut aus auch durchgeführt: so beispielsweise in Fachausschüssen der *Gesellschaft für Informatik (GI)*, in Sachverständigenkreisen, Projektbeiräten u.ä. von Großprojekten bei der *Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)*, des *Bundesministers für Forschung und Technologie (BMFT)*, des *Bundesgesundheitsamtes (BGA)*, sowie auch die Mitwirkung in Berufungskommissionen anderer Universitäten, bei der Organisation von Tagungen usw. Einzelheiten darüber sind den jeweiligen Jahresberichten zu entnehmen.

VI Neue Entwicklungen und Pläne

Hochschulsonderprogramm (HSP 89, "Möllemann-Programm")

In einem Sofortprogramm für die Universitäten wurden von Bund und Ländern gemeinsam, initiiert durch den Bundeswissenschaftsminister Möllemann, insgesamt 2,1 Milliarden DM verteilt auf sieben Jahre zur Verfügung gestellt. Diese Mittel waren insbesondere dafür vorgesehen, die sehr überlasteten Studiengänge, nach deren Absolventen auch sehr große Nachfrage besteht, nämlich die Wirtschaftswissenschaften und die Informatik, mit zusätzlichen Mitteln und Stellen auszustatten. Aus diesem Programm wurden unserer Fakultät für Wirtschaftswissenschaften insgesamt 16,5 Stellen

zugewiesen. Dafür muß die Fakultät nun aber auch 60 zusätzliche Studenten pro Jahr zu dem Wirtschaftsingenieurstudium zulassen. Vom Ministerium war dabei festgelegt, daß bei diesen 16,5 Stellen eine C4-Professur sein sollte, die mit drei wissenschaftlichen Assistenten und einer halben Sekretärin ausgestattet sein sollte. Um diese Bedingung zu erfüllen, wurde die bisher als Fiebiger-Professur vorgesehene Stelle C4-Professur Angewandte Informatik nunmehr umgewidmet und diesem Hochschulonderprogramm zugeordnet, so daß damit verbunden dieser Stelle drei wissenschaftliche Mitarbeiter und eine halbe Sekretärin zugewiesen werden konnten. Somit konnte sich der Personalbestand des Instituts neben dieser einen C4-Professur um weitere dreieinhalb Stellen erweitern. Auf die allgemeine Problematik der Zuweisung dieser Stellen wird an anderer Stelle sicher noch eingegangen werden (vgl. den Jahresbericht des Instituts für das Jahr 1989).

Vakante Professuren - vakante Mitarbeiterstellen

Da seit nunmehr fast zwei Jahren zwei Lehrstühle und eine C3-Professur vakant sind, konnten natürlich auch nicht alle Mitarbeiterstellen, die durch den Weggang der Professoren freigeworden waren, neu besetzt werden. Denn im allgemeinen möchte ein Lehrstuhlinhaber, der eine Stelle an einem Institut neu antritt, die ihm zugewiesenen Stellen mit eigenen Mitarbeitern bzw. Mitarbeitern, die er ausgewählt hat, besetzen. Da die bisherige Institutsleitung dies soweit wie möglich gewährleisten wollte, wurden auch, soweit es ging, nicht alle freiwerdenden Mitarbeiterstellen besetzt. Die Folge davon war natürlich, daß die verbleibenden Mitarbeiter umso mehr zu tun hatten und umso deutlicher durch die Lehre belastet waren, so daß nicht mehr von einer Überlast von 100%, sondern eigentlich von weit mehr zu sprechen ist. Ich möchte an dieser Stelle allen Mitarbeitern, die in dieser Zeit die Arbeit am Institut mitgetragen haben, ganz, ganz herzlich dafür danken, daß sie - zum großen Teil auch mir persönlich zuliebe - diese große Arbeitsüberlastung mitgetragen und mitverantwortet haben.

Rechnerausstattung

Zu diesem Punkt möchte ich an dieser Stelle nicht allzuviel sagen. Es kann generell festgestellt werden, daß die Rechnerausstattung des Instituts sowohl für die Lehre wie für die Forschung nicht besonders gut ist. Wir hoffen allerdings, daß sich diese Situation durch die inzwischen erfolgten Berufungszusagen sowie durch die Möglichkeiten, im Rahmen neuer CIP- und WAP-Programme Rechner zu beantragen, im Laufe des nächsten Jahres oder der nächsten beiden Jahre wesentlich verbessern wird. Genauer dazu werden wir sicherlich erst im Jahresbericht 1990 bzw. im Rahmen des Kolloquiums Angewandte Informatik Karlsruhe 1991 sagen können.

Räumlichkeiten

Wie den meisten von Ihnen sicherlich bekannt ist, ist unser Institut auf insgesamt vier Gebäude verteilt, nämlich den Bau IV im Kollegium am Schloß (als sogenannte "Zentrale"), auf die Büroräume in der Kronenstraße 32 und in der Waldhornstraße 27 (beide jeweils etwa 500 m von der Zentrale entfernt) und einige Räume im Bau 33 in der Westhochschule (etwa 5 km von der Zentrale entfernt). Diese Situation ist - obwohl von einigen Mitarbeitern ganz gerne gesehen, weil sie nicht im ständigen Zugriff sind - eigentlich äußerst ungünstig. Sie wird sich aber demnächst grundlegend ändern, denn es ist beabsichtigt, daß unser Institut voraussichtlich im Herbst 1990 das oberste Stockwerk des ehemaligen Gebäudes der alten Anorganischen Chemie, welches jetzt saniert wird, einnehmen wird. Diese Räumlichkeiten dort werden so gestaltet sein, daß das ganze Institut sich dann nicht nur in einem Gebäude, sondern im wesentlichen sogar auf einer Ebene zusammenfinden kann.

Ausbau der Gruppe "Angewandte Informatik" in der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Im Mai 1987, im Zusammenhang mit den Bleibeverhandlungen mit Thomas Ottmann, wurde vom Institut erstmals ein Antrag an das Ministerium für Wissenschaft und Kunst Baden-Württemberg gestellt mit

dem Inhalt, unser Institut AIFB mit entsprechenden Informatikinstituten gleichzustellen. Ich habe darauf bereits beim Kolloquium Angewandte Informatik Karlsruhe 1987 hingewiesen und diesen Antrag erwähnt. Eine Gleichstellung mit Informatikinstituten hätte beachtliche personelle und finanzielle Konsequenzen. Denn, zusätzlich zu dem bisherigen Personalbestand, wie er in Abbildung 7 dargestellt ist, müßten eine weitere Professur, weitere acht Stellen für wissenschaftliche Mitarbeiter, je zwei weitere Stellen für Verwaltungs- und technische Angestellte zugewiesen werden. Dieser immense Nachholbedarf traf natürlich bei der Universitätsverwaltung zunächst auf Unglauben, konnte allerdings nach gründlicher Prüfung durch die Planungsabteilung der Universität als berechtigt anerkannt werden. Eine Weiterleitung des Antrags an das Ministerium für Wissenschaft und Kunst (MWK) unterblieb zunächst - trotz Anerkennung des grundsätzlichen Bedarfs -, da inzwischen die *Expertenkommission Forschung Baden-Württemberg 2000* ihre Arbeit aufgenommen hatte und möglicherweise die durch den Antrag bedingten zusätzlichen Stellen und Mittel für das Institut AIFB im Rahmen der Empfehlungen dieser Kommission zugewiesen werden könnten.

Empfehlungen der Kommission Forschung Baden-Württemberg 2000

Diese von Ministerpräsident Lothar Späth eingesetzte Kommission aus unabhängigen Wissenschaftlern sollte *"konzeptionelle Vorschläge für die Weiterentwicklung der Universitäten mit einer Perspektive bis etwa zur Jahrtausendwende ... erarbeiten, um so günstige Entwicklungsbedingungen für die Forschung an den neun Landesuniversitäten zu sichern"*. Die Kommission wurde im Juni 1987 eingerichtet und erhielt den konkreten Auftrag, *"auf der Grundlage des Ausbaustands der neun Landesuniversitäten und der vorhersehbaren und zu erwartenden Entwicklung der Wissenschaften die Universitätsstruktur des Landes Baden-Württemberg vornehmlich unter dem Gesichtspunkt der Forschungstätigkeit zu überprüfen und Vorschläge für deren Weiterentwicklung zu erarbeiten"*. Die Kommission nahm ihre Arbeit am 30. Oktober 1987 auf; sie besuchte alle Universitäten des Landes, unter anderem auch die Universität Karlsruhe, und erstellte ihren Abschlußbe-

richt am 6. Juli 1989. Einige Passagen, die ich im folgenden zum Teil wörtlich zitieren möchte, betreffen einerseits speziell die Fakultät für Wirtschaftswissenschaften unserer Universität, insbesondere den Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen, andererseits die Angewandte Informatik, insbesondere in ihrem Verhältnis zur Kerninformatik, sowie explizit auch unser eigenes Institut AIFB.

In einem allgemeinen Teil, der sich mit Stellungnahmen und Empfehlungen zum Studiengang Betriebswirtschaftslehre befaßt, heißt es: *"Die an der Universität Karlsruhe bestehende Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät sollte in den Stand gesetzt werden, ihre Ausbildung zum Wirtschaftsingenieur ebenfalls auszubauen, da diese Ausbildung in besonderem Maße zukunftssträftig ist. Über die durch das Sofortprogramm geschaffenen 60 Studienplätze hinaus sollte die Landesregierung ermuntert werden, dieses Studienfach weiter zu fördern."*

In einem anderen Teil, der Empfehlungen der Kommission zur Informatik und Informationstechnik an den Universitäten des Landes Baden-Württemberg enthält, heißt es dann: *"Bezüglich der Schaffung neuer Studienplätze sollte sorgfältig abgewogen werden, ob nicht der Ausbildung von Anwendern der Informatik in anderen Disziplinen der Vorzug vor der weiterer Kerninformatiker gegeben werden sollte."*

Der Bericht befaßt sich dann im einzelnen mit dem von der Universität Karlsruhe vorgelegten Struktur- und Entwicklungsbericht, in dem diese als ersten Schwerpunkt die "Informationstechnologie, Informatik, Rechneranwendung" genannt hat. Die Kommission ist der Meinung, daß hier ein großes Gebiet *"fakultätsübergreifend und in seinen Bezügen zu praktisch allen Disziplinen der Universität überzeugend dargestellt"* wird. Sie betont, daß *"die Vorstellungen der Universität über die weitgespannte Anwendung des Rechners und insofern die 'Informatisierung der Forschung und Lehre'"* denen entsprechen, die sie selbst in mehreren Abschnitten dargelegt hat. Es wird dann weiter dargelegt, daß im einzelnen vorgesehen ist *"(1) der Ausbau der Gruppe Angewandte Informatik innerhalb der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, die sich vornehmlich mit der betrieblichen Informationsverarbeitung und deren methodischen Grundlagen befaßt und die Nebenfachausbildung in Informatik in den wirtschaftswissenschaftlichen*

Studiengängen dieser Fakultät bestreitet. ... Über die Bedeutung dieses Gebietes in Forschung und Lehre gibt es sicher keine Zweifel. Die Kommission empfiehlt die wohlwollende Prüfung des entsprechenden, dem Ministerium vorgelegten detaillierten Antrages." (Anmerkung des Vortragenden: Damit ist der oben erwähnte Antrag des Instituts AIFB auf Ausbau der Angewandten Informatik in der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften gemeint.) Die Kommission schließt diesen Abschnitt mit dem folgenden Satz: "Die Kommission empfiehlt die wohlwollende Prüfung und weitgehende Bewilligung der bereits dem Ministerium vorliegenden Detailanträge ..."

Damit ist meines Erachtens deutlich gemacht, daß die Problematik einer Gruppe Angewandte Informatik in einer Fakultät für Wirtschaftswissenschaften auch nach außen hin deutlich geworden ist und daß sich die entsprechenden zuständigen Stellen im Ministerium bemühen, dieser Situation gerecht zu werden und diesem Institut bzw. dieser Arbeitsgruppe wirklich gute Lebensbedingungen zu schaffen.

Meine Damen und Herren, ich danke Ihnen für Ihre Bereitschaft, so lange zuzuhören. Vielen Dank.

Deduktive Datenbanken - ein neuer Ansatz zur Wissensdarstellung -

Nikolai Preiß
Bausparkasse GdF Wüstenrot, Ludwigsburg

Peter Sander
Universität Karlsruhe

Abstract

Für die Verwaltung und Verarbeitung von Wissen hat sich der regelbasierte Ansatz (Wenn-Dann-Regeln) durchgesetzt, wobei insbesondere logikorientierte Regeln eine wichtige Rolle spielen. Diese Entwicklung hat auch die Datenbankforschung stark beeinflusst, sodaß sich die Forschungsaktivitäten von den relationalen zu den deduktiven Datenbanken verlagert haben.

Deduktive Datenbanken sind in der Lage, aufgrund von logikorientierten Regeln implizite Information aus einem expliziten Datenbestand herzuleiten. Dieser Vorgang soll in dem vorliegenden Bericht erläutert werden. Dabei geben wir einen Überblick über die Grundlagen deduktiver Datenbanken, beschreiben aber auch einige populäre Erweiterungen in diesem Bereich.

1. Einleitung

Die Wissensverarbeitung als populärstes Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz bezeichnet eine neue Form der Informationsverarbeitung, bei der insbesondere Methoden zur theoretisch fundierten Aufbereitung und Repräsentation zumeist komplexer, heterogener Wissensbereiche sowie zu deren zielgerichteten Verknüpfung im Vordergrund stehen. Die augenblicklich wohl bedeutendste Anwendung der Wissensverarbeitung stellen die Expertensysteme (s. [HaKi85], [Wat86]) dar, die heute in nahezu allen Bereichen der Informatik (Robotik, Bildverarbeitung, Sprachverarbeitung, Deduktionssysteme, etc.) Verwendung finden.

Für die Verwaltung und Verarbeitung von Wissen in diesen Expertensystemen hat sich der regelbasierte Ansatz (s. [Hay85]) durchgesetzt, wobei die logikorientierten Regeln (Wenn-Dann-Regeln: "Bedingungs- teil impliziert Schlußfolgerung") eine für den Anwender sehr anschauliche Ausprägung dieses Ansatzes darstellen.

Als entscheidender Nachteil solcher wissensverarbeitender Systeme hat sich jedoch die fehlende Effizienz bei der Verarbeitung umfangreicher konventioneller Datenbestände herausgestellt. Aufgrund dieser Tatsache entwickelte sich ein neuer Forschungsbereich: die Integration von wissensverarbeitenden Systemen mit Datenbanksystemen (s. [JCV84], [App85], [BrJa86], [BrMy86], [CFM86], [MiWi86]).

Diese Forschungsarbeiten haben heute ihren Schwerpunkt bei den deduktiven Datenbanken, die aufgrund geeigneter Analogien von der Logik zur relationalen Datenbanktheorie (s. [GMN84], [Rei84]) mit logikorientierten Regeln das Ableiten impliziter Information aus einem expliziten Datenbestand ermöglichen. Dabei werden nicht nur konventionelle Datenbanken, sondern auch komplexe Objekte und objektorientierte Datenbanken in die Betrachtungen mit einbezogen.

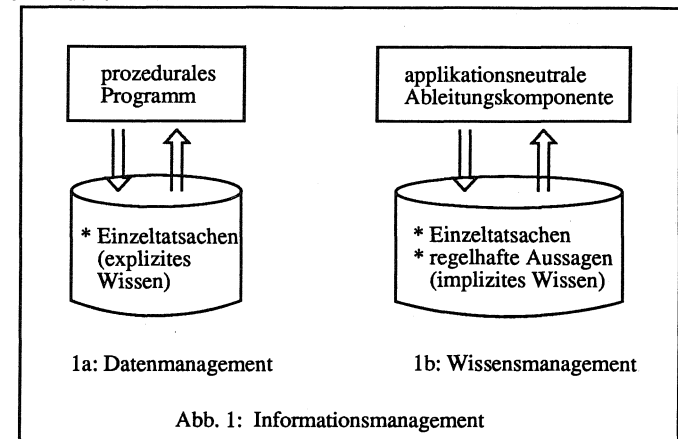
Dieser Vortrag gibt einen Überblick darüber, in welchem hohem Maße mit deduktiven Datenbanken die Ausdrucksfähigkeit herkömmlicher Datenbanksprachen (s. [Codd70], [Ul182]) gesteigert werden kann. Dazu gibt das folgende Kapitel 2 zunächst eine Einführung in den Bereich der deduktiven Datenbanksysteme, wobei die Neuerungen für konventionelle Datenbanken herausgearbeitet werden. Daran anschließend ist im Kapitel 3 Datalog - die Standardsprache für deduktive Datenbanken - dargestellt, sowie einige Erweiterungen dieser Sprache, etwa im Hinblick auf die Behandlung komplexer Objekte. Das Kapitel 4 faßt dann die wichtigsten Aussagen über deduktive Datenbanken noch einmal zusammen und weist auf laufende Forschungsaktivitäten hin.

2. Wissensverarbeitung und Datenbanken

2.1 Deduktive Datenbanken

Heute existierende Datenbanksysteme wurden überwiegend für den kommerziellen und administrativen Bereich konzipiert und bieten für die entsprechenden Applikationen einen durchaus befriedigenden Grad an Datenunabhängigkeit, Datensicherheit, Datenkonsistenz, Mehrbenutzerbetrieb, Recovery, Performance und Benutzerfreundlichkeit. Dabei haben sich vor allem relationale Datenbanksysteme bewährt (s. [SS83]), die einfach strukturierte Massendaten in Tabellen verwalten und prozeduralen Programmen den Zugriff auf diese gestatten (s. Abb. 1a).

Im Gegensatz zum relationalen Datenmanagement benötigt man jedoch in Non-Standard-Anwendungen wie Expertensystemen ein logikorientiertes Wissensmanagement. Dabei enthält eine deskriptive Wissensbank nicht nur Fakten, sondern auch regelhafte Aussagen. Die Verknüpfung dieses Wissens führt eine applikationsneutrale Ableitungskomponente durch (s. Abb. 1b), wodurch entsprechende Schlußfolgerungen ermöglicht werden.



Beide Formen der Informationsverarbeitung weisen gewisse Schwachstellen auf. Als entscheidender Nachteil wissensverarbeitender Systeme

hat sich die fehlende Effizienz bei der Verarbeitung umfangreicher konventioneller Datenbestände herausgestellt. Auf der anderen Seite stehen den Benutzern von herkömmlichen relationalen Datenbanksystemen gewisse Anfragemöglichkeiten nicht oder nur sehr unzureichend zur Verfügung (s. Bsp. 1).

Beispiel 1:

Gegeben sei folgender Datenbestand:

Student	Name	MatrNr	Hörer	MatrNr	Vorlesung
	Max	111		111	Betriebssysteme
	Ute	222		111	Datenbanken
	Ernst	333		222	Betriebssysteme
				333	Datenbanken

Falls keine weiteren Informationen gegeben sind, läßt sich die Frage "Wer hört welche Vorlesung?" nicht beantworten.

Erst über das Konzept der View, das beispielsweise in SQL zur Verfügung steht, läßt sich eine entsprechende Antwort ermitteln:

Stud-Hör	Name	Vorlesung
	Max	Betriebssysteme
	Max	Datenbanken
	Ute	Betriebssysteme
	Ernst	Datenbanken

Im allgemeinen ist jedoch das Viewkonzept beschränkt, so z.B. hinsichtlich beliebiger Schachtelung oder Rekursion. ◇

Somit ergibt sich ein offensichtlicher Bedarf, wissensverarbeitende Systeme und Datenbanksysteme zu integrieren, um deren Vorteile dem Benutzer kombiniert zur Verfügung stellen zu können. Dies bedeutet aus der Sicht der Datenbanken die Bereitstellung eines relationalen Datenmanagement mit deduktiver Komponente bzw. die Erweiterung des bisherigen Viewkonzepts um entsprechende Ableitungsregeln.

Das Ziel deduktiver Datenbanksysteme ist die mengenorientierte Ableitung impliziter Information aus einem expliziten Datenbestand. Dabei liegt die Stärke eines solchen Systems im Vergleich zur

herkömmlichen Datenverarbeitung vor allem in den verbesserten Anfragemöglichkeiten.

2.2 Neuerungen für konventionelle Datenbanken

In den letzten Jahren hat man vornehmlich daran gearbeitet, ein konventionelles relationales Datenbanksystem als Grundlage für die Realisierung eines deduktiven Datenbanksystems einzusetzen (s. [Yok84], [Boc86], [ChWa86], [RaLu88]). Dabei war ausschließlich ein logisches Programmiersystem wie etwa Prolog für die Verarbeitung der regelhaften Aussagen verantwortlich, während üblicherweise die Verwaltung der Fakten im Datenbanksystem erfolgte.

Diese Phase ist - zumindest für den Forschungsbereich - abgeschlossen. Auf dem Gebiet der deduktiven Datenbanken arbeitet man heute überwiegend an den formalen Grundlagen und deren möglichen Erweiterungen. Den Rahmen für diese Überlegungen bildet die formale Logik, die sehr schöne Analogien zur relationalen Datenbanktheorie aufweist (s. [GMN84], [Rei84], [Llo87]), wobei zumeist die Hornlogik zugrunde gelegt wird (s. Bsp. 2 und Kap. 3).

Beispiel 2:

Bei Anwendung der Hornlogik zur Beschreibung deduktiver Datenbanken formuliert man die View aus Bsp.1 mittels folgender logischer Formel:

```

Student(Name, MatrNr),
Hörer(MatrnNr, Vorlesung)
→
Stud-Hör(Name, Vorlesung)

```

Dabei impliziert ein Bedingungsteil ("Wenn"-Teil) eine Schlußfolgerung ("Dann"-Teil). Die Prädikate entsprechen den Relationen, die Argumente den Attributen. Die Joinbedingung wird durch gleichnamige Argumente zum Ausdruck gebracht. ◇

Die Verwendung der Konzepte aus der Hornlogik ermöglicht zunächst einmal folgende grundlegenden Verbesserungen für das herkömmliche relationale Datenmanagement:

- beliebige Schachtelung der Views (Ableitungsregeln),
- rekursiv definierte Views und
- Berücksichtigung von Integritätsbedingungen.

Auf diese Punkte werden wir im folgenden Abschnitt 2.3 noch etwas genauer eingehen. Zuvor sei allerdings noch angemerkt, daß es zwischenzeitlich eine enorme Anzahl an Forschungsaktivitäten gibt, die sich mit Erweiterungen der grundlegenden Erkenntnisse im Bereich deduktiver Datenbanken beschäftigen, so z.B. mit

- negierten Prädikaten (Komplement-Relationen),
- Funktionen als Argumente,
- komplexen Objekten anstelle atomarer Objekte.

Diese Aspekte werden in Kapitel 3 noch beispielhaft behandelt, wobei zu beachten ist, daß in diesen Bereichen noch keine allgemeingültigen Forschungsergebnisse vorliegen.

Weitere interessante Problembereiche für deduktive Datenbanken stellen

- vage Informationen (Wahrscheinlichkeiten),
- unvollständige Informationen (Nullwerte)

und ähnliche Fragestellungen dar, die wir aber leider aufgrund des engen Rahmens nicht in diesem Papier behandeln können.

2.3 Schachtelung, Rekursion und Integritätsbedingungen

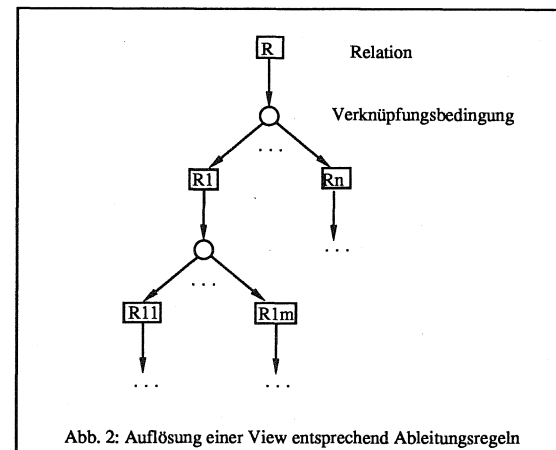
Schachtelung

Der erste Schritt von einer relationalen zu einer deduktiven Datenbank besteht in der Möglichkeit, Views (virtuelle Relationen) nicht nur über Basisrelationen, sondern beliebig über Basisrelationen und Views definieren zu können. Dabei ist allerdings darauf zu achten, daß die Beziehungen zwischen den einzelnen Relationen für eine Anfrageauswertung verfügbar sind.

Ein geeignetes Mittel dazu ist der Rule-Goal-Tree (s. [Ull85]), der ähnlich der Resolution eine Anfrage mittels geeigneter Ableitungsregeln

aufschlüsselt, wobei allerdings die Auswertung verzögert wird, bis die zugrundeliegenden Basisrelationen mengenorientiert verknüpft werden können. Im Falle eines Regelwerkes mit Rekursion muß dabei eine Variante - der Rule-Goal-Graph - gewählt werden (s. [Ull85]), die aber auf demselben Prinzip beruht.

Eine weitere Möglichkeit, die Schachtelung der Views aufzuzeigen, stellt der Ableitungsgraph dar (s. [Pre89]). Der Ableitungsgraph ist eine Mischung aus Resolutionsgraph und Rule-Goal-Graph und veranschaulicht die Auflösung einer virtuellen Relation über Zwischenrelationen in Basisrelationen (s. Abb.2).



Der Vorteil des Ableitungsgraphen besteht darin, daß der Graph bei der Auswertung auf syntaktische und semantische Vereinfachungen hin untersucht werden kann (s. [Pre89]). Insbesondere das Durchreichen von Selektionsbedingungen reduziert die Größe der Zwischenrelationen und damit die Laufzeit ganz erheblich.

Rekursion

Ein zweiter, entscheidender Schritt in Richtung deduktive Datenbank ist die Möglichkeit, virtuelle Relationen rekursiv definieren und entsprechende Anfragen über solche Views formulieren zu können. Dies führt zu einer entscheidenden Verbesserung der Anfragemächtigkeit, denn

rekursive Anfragen können in herkömmlichen Formalismen relationaler Datenbanksysteme (Relationenalgebra, Relationenkalkül, SQL) nicht formuliert werden.

Bei der Rekursion in Datenbanken kommt insbesondere der linearen Rekursion (s. Bsp. 3) eine bedeutende Rolle zu, da diese nahezu alle praxisrelevanten Viewdefinitionen abdeckt und in den letzten Jahren elegante Algorithmen entwickelt wurden, um diese Form der Rekursion effizient auszuwerten (s. [BaRa88]).

Beispiel 3:

Die beiden in der Literatur am häufigsten anzutreffenden Formen der rekursiven Definition beschreiben die Vorfahr-Relation (transitive Hülle):

$$\begin{aligned} \text{Vorfahr}(\text{Kind}, \text{Elter}) &\leftarrow \text{Elterteil}(\text{Kind}, \text{Elter}) \\ \text{Vorfahr}(\text{Kind}, \text{Ahne}) &\leftarrow \text{Elterteil}(\text{Kind}, \text{Elter}), \text{Vorfahr}(\text{Elter}, \text{Ahne}) \end{aligned}$$

und die Gleiche_Ebene-Relation:

$$\begin{aligned} \text{Gleiche_Ebene}(X, Y) &\leftarrow \text{Eben}(X, Y) \\ \text{Gleiche_Ebene}(X, Y) &\leftarrow \text{Auf}(X, X1), \text{Gleiche_Ebene}(X1, Y1), \text{Ab}(Y1, Y) \end{aligned}$$

◇

Für die Auswertung einer linear rekursiv definierten View gibt es zwei grundsätzliche Vorgehensweisen. Eine erste ist die Umformung der logischen Regeln in Fixpunktgleichungen (s. Bsp. 4) mit anschließender Bestimmung des kleinsten Fixpunktes. Ein bekannter Vertreter dieser mathematischen Methode ist der Semi-Naive-Auswertungsalgorithmus (s. [Bay85]).

Beispiel 4:

Die beiden Relationen aus Bsp. 3 werden als Fixpunktgleichungen wie folgt formuliert:

$$\begin{aligned} \text{Vorfahr} &= (\text{Elterteil} \times \text{Vorfahr}) \cup \text{Elterteil} \\ \text{Gleiche_Ebene} &= (\text{Auf} \times \text{Gleiche_Ebene} \times \text{Ab}) \cup \text{Eben} \end{aligned}$$

◇

Fixpunktgleichungen haben allerdings den Nachteil, daß nicht immer die Selektionsbedingungen in die Auswertung eingebracht werden können. Diesen Nachteil beseitigt das *Sideways Information Passing*, die logikorientierte Auswertungsmethode. Dabei wird entsprechend der Resolution iterativ das Regelwerk verknüpft und mengenorientiert ausgewertet. Bekannte Vertreter dieser Methode sind die Magic-Sets-Methode (s. [BMSU86]) und die Methode von Henschen / Naqvi (s. [HeNa84]).

Integritätsbedingungen

Eine Integritätsbedingung entspricht einer Abstraktion einer logischen Beschränkung, der die Objekte in der Datenbank unterliegen, und dient vornehmlich zur Sicherung der Datenkonsistenz. Darüberhinaus kann eine Integritätsbedingung aber auch für eine semantische Anfrageoptimierung eingesetzt werden, wobei der Suchraum reduziert oder redundante Joins und Selektionsbedingungen eliminiert werden (s. [CMG86], [Jar86], [Pre89]).

Deduktive Datenbanken bieten dabei mit der Hornlogik eine Grundlage, mit der Integritätsbedingungen entsprechend den Ableitungsregeln in einer einheitlichen Art und Weise verwaltet und verarbeitet werden können. Allerdings unterscheiden sich Integritätsbedingungen von Ableitungsregeln insofern, daß sie den Umfang der Fakten, die gespeichert und abgefragt werden können, reduzieren, während Ableitungsregeln den Umfang der aus der Datenbank erhältlichen Fakten erweitern.

Eine Integritätsbedingung stellt im Prinzip nichts anderes dar als eine Anfrage mit leerem Ergebnis. Eine entsprechende Darstellung bringt diese spezielle Semantik zum Ausdruck (s. Bsp. 5a), allerdings wird dazu in manchen Fällen die Negation erforderlich (s. Bsp. 5b), die bei der Hornlogik im Rumpf einer Regel nicht vorgesehen ist.

Beispiel 5:

- a) Die Integritätsbedingung, daß die Personalnummer in einer Angestellten-Relation nicht negativ sein darf:
- $$\text{ANG}(\text{PNr}) \rightarrow \geq (\text{PNr}, 0)$$

läßt sich wie folgt darstellen:

$ANG(PNr), < (PNr, 0) \rightarrow$

b) Die Integritätsbedingung, daß jeder Abteilungsleiter in der Abteilungen-Relation auch als Angestellter in der Angestellten-Relation vorhanden sein muß:

$ABT(Leiter), = (Leiter, PNr) \rightarrow ANG(PNr)$

läßt sich in der speziellen Schreibweise nur mit Negation formulieren:

$ABT(Leiter), = (Leiter, PNr), \neg ANG(PNr) \rightarrow \diamond$

Eine derartige einheitliche Verwaltung und Verarbeitung von Integritätsbedingungen und beliebig geschachtelten, möglicherweise rekursiv definierten Views ist bspw. in [Pre89] zu finden, wo ein relationales Datenbanksystem mit entsprechenden Konzepten deduktiv erweitert wird.

3. Datalog

Die Sprache DATALOG ist inzwischen eine Standardsprache für deduktive Datenbanksysteme. Sie ist eine Einschränkung der Prädikatenlogik 1. Stufe und erlaubt als Formeln für die Wissensdarstellung Horn-Klauseln ohne Funktionssymbole. Aus diesem Grunde ist sie mit der logischen Programmiersprache PROLOG eng verwandt; es gibt aber auch gravierende Unterschiede, die im folgenden noch genauer beschrieben werden.

3.1 Horn-Klauseln ohne Funktionssymbole

Horn-Klauseln sind allquantifizierte Formeln der Form

$a \vee \neg a_1 \vee \dots \vee \neg a_n \quad (n \geq 0).$

wobei a, a_1, \dots, a_n atomare Formeln (oder: positive Literale) im Sinne der Logik sind. Die Allquantoren werden üblicherweise weggelassen, außerdem formt man diese Formel in die folgende einprägsame (und logisch äquivalente) Schreibweise um:

$a \leftarrow a_1 \wedge \dots \wedge a_n$

oder in PROLOG-Notation:

$a :- a_1, \dots, a_n$

Es werden verschiedene Arten von Horn-Klauseln unterschieden: So nennt man Horn-Klauseln ohne negierte Literale auch Fakten, sie besitzen keinen Bedingungsteil und werden dementsprechend immer als „wahr“ interpretiert. Eine Menge von Fakten desselben Prädikats werden wir auch Relation nennen. Horn-Klauseln ohne positive Literale, d.h. ohne Konklusionsteil, werden auch Anfragen genannt (ihre Erfüllbarkeit gilt es nachzuweisen), und Horn-Klauseln mit positiven und negativen Literalen werden schlicht Regeln genannt. In gewohnter prozeduraler Denkweise kann man sich die letzteren auch als Prozeduren vorstellen, mit deren Hilfe man aus bekannten Fakten weitere Fakten schließen kann.

Beispiel 6:

Zur Beschreibung von Bahnverbindungen zwischen Orten ist das Prädikat VERBINDUNG gegeben. Die folgenden Fakten geben konkrete Verbindungen an:

VERBINDUNG(Karlsruhe, Stuttgart)

VERBINDUNG(Mannheim, Frankfurt)

VERBINDUNG(Stuttgart, München)

VERBINDUNG(Worms, Karlsruhe)

...

Außerdem werden durch die nachfolgenden Formeln beliebig lange Wege zwischen den betrachteten Orten – und damit die transitive Hülle – der VERBINDUNG-Relation beschrieben.

$Weg(X,Y) :- VERBINDUNG(X,Y)$

$Weg(X,Y) :- VERBINDUNG(X,Z), Weg(Z,Y) \quad \diamond$

3.2 Datalog: Formale Semantik, Auswertung und Abgrenzung zu Prolog

Formale Semantik

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Semantik, d.h. die inhaltliche Bedeutung, von DATALOG-Programmen zu definieren. Einerseits kann man die Semantik eines Programms durch Modelle beschreiben, da ein Programm aus einer Menge prädikatenlogischer Formeln besteht. Es

reicht sogar aus, die Menge aller Herbrand-Modelle – einer Teilklasse aller möglichen Modelle – zu betrachten, und da diese Menge einen Mengenverband bildet, kann man jedem Programm das eindeutig bestimmte, minimale Herbrand-Modell als Semantik zuzuordnen.

Neben dieser *modelltheoretischen Semantik* gibt es die *beweistheoretische Semantik*. Diese basiert auf einem korrekten und vollständigen Kalkül und ordnet jedem DATALOG-Programm die Menge aller syntaktisch ableitbaren Formeln als Semantik zu. Es ist eine in der formalen Logik wohlbekannte Tatsache, daß diese beiden erwähnten Formalismen "äquivalent" sind.

Neben dieser logischen Sichtweise gibt es auch eine algebraische (s. auch Abschnitt 2.3): Zu jedem DATALOG-Programm gibt es einen Fixpunktoperator, der das simultane "Anwenden" aller Regeln auf Fakten simuliert. Die iterative Anwendung dieses Fixpunktoperators liefert einen Grenzwert, den man als *Fixpunktsemantik* des Programms bezeichnet.

Der wesentlicher Grund für den Einsatz von Horn-Klauseln als Formalismus in deduktiven Datenbanken ist die – in [vEK 76] erstmals bewiesene – Tatsache, daß alle 3 Semantiken äquivalent sind, d.h. dieselbe Faktenmenge beschreiben.

Auswertung

Viel Forschungsaufwand ist in den letzten Jahren betrieben worden, um effiziente Auswertungsverfahren für Anfragen an deduktive Datenbanken zu finden. Im Gegensatz zur Auswertung bei PROLOG, geschieht dies in deduktiven Datenbanken meist "bottom-up" und "mengenorientiert". Dieses Vorgehen entspricht der Fixpunktsemantik. Der Grund dafür, daß in deduktiven Datenbanksystemen andere Auswertungsverfahren als das für PROLOG verwendete Resolutionsverfahren eingesetzt werden, liegt vor allem darin, daß bei Datenbanken der Suchraum meist sehr viel größer ist, als bei den „vorwiegend kleinen“ PROLOG-Anwendungen. Somit tritt die Frage der Effizienz bei deduktiven Datenbanksystemen in den Vordergrund.

Der grundlegende Algorithmus ist der sog. Naive Auswertungsalgorithmus (s. etwa [Ull88]), der zwar noch sehr ineffektiv ist, der aber die Grundidee der Fixpunktsemantik realisiert (s. Bsp. 7).

Beispiel 7:

Wir betrachten die Verbindungen/Wege-Datenbank aus Beispiel 6. Es bezeichne

$$d := (r(\text{Verbindung}), r(\text{Weg}))$$

das Relationenpaar über den Prädikaten VERBINDUNG und WEG. Dann ist der Naive Auswertungsalgorithmus beschreibbar durch:

```
BEGIN
  d := Ø;
  REPEAT
    d := T(d)
  UNTIL 'keine Veränderung bei d'
END;
```

Dabei bewirkt der Operator T:

$T(r(\text{Verbindung}), r(\text{Weg})) := (r'(\text{Verbindung}), r'(\text{Weg}))$,
wobei

$$\begin{aligned} r'(\text{Verbindung}) &:= r(\text{Verbindung}) \\ r'(\text{Weg}) &:= r(\text{Verbindung}) \cup \pi_{1,3}(r(\text{Verbindung}) \times r(\text{Weg})) \end{aligned}$$

◇

Dieser Algorithmus, der iterativ alle Regeln gleichzeitig auf alle bereits berechneten Fakten anwendet, bis sich keine Veränderung des Ergebnisses mehr ergibt, kann in vielerlei Hinsicht verbessert werden:

- Vermeidung von Mehrfachberechnungen,
d.h. Fakten, die in einem Schritt berechnet werden, brauchen in den folgenden Schritten nicht erneut berechnet zu werden.
- Berücksichtigung von Anfragekonstanten.
Diese schränken das Resultat meist sehr stark ein und sollten deshalb als Selektionskriterium "so früh wie möglich" berücksichtigt werden.
- Ausschluß irrelevanter Fakten:
es sollten nur diejenigen Fakten bei der Anfrageauswertung berücksichtigt werden, die auch wirklich zur Herleitung eines Antworttupels beitragen.

Diese Grundidee liegt beispielsweise der "magic sets" - Methode zugrunde (s. [BMSU86]).

Abgrenzung zu PROLOG

Wie eingangs erwähnt und wie auch an der geschilderten Naiven Auswertungsmethode erkennbar, gibt es zwischen der logischen Programmiersprache PROLOG und der Sprache DATALOG grundlegende Unterschiede. Die gravierendsten werden im folgenden aufgezählt:

- PROLOG ist eine logische Programmiersprache, DATALOG ist eine Sprache für deduktive Datenbanken. Diese unterschiedlichen Zielgebiete haben unterschiedliche Anforderungen. So muß PROLOG volle Turing-Berechenbarkeit gewährleisten, während DATALOG-Programme 'sicher' sein sollten, d.h. in keine unendlichen Schleifen laufen dürfen.
- PROLOG ist syntaktisch wesentlich vielfältiger als DATALOG, es gibt Ein-/Ausgabe-Prädikate, Negation sowie das 'Cut' und das 'Fail' zur Steuerung der Programmabarbeitung.
- Die formale Semantik von PROLOG ist vom Ursprung her zwar deklarativ, in Wirklichkeit aber doch sehr prozedural, da der Programmierer die Abarbeitung durch den PROLOG-Interpreter immer mitberücksichtigen muß und dies auch über Prädikate zur Steuerung der Programmabarbeitung tut. DATALOG dagegen ist rein deklarativ, d.h. von der Reihenfolge der Abarbeitung unabhängig.
- Der in PROLOG verwendete Auswertungsalgorithmus – die SLD-Resolution – arbeitet tupelorientiert, im Gegensatz zur mengenorientierten Vorgehensweise bei deduktiven Datenbanksystemen, d.h. es wird bei der Abarbeitung von PROLOG-Programmen auch jeweils nur genau ein Tupel bei einem erfolgreich verlaufenen Suchvorgang erzeugt.

3.3 Datalog-Erweiterungen

Es sind in den letzten Jahren sehr vielfältige Erweiterungen von DATALOG untersucht worden. Mit diesen Erweiterungen sollen zum einen die Modellierungsmöglichkeiten ausgeweitet werden; dies ist

vergleichbar mit dem Übergang vom herkömmlichen relationalen Datenmodell zu nichtnormalisierten oder semantischen Datenmodellen. Zum anderen soll aber auch die Anfragemächtigkeit, etwa durch die Hinzunahme arithmetischer Prädikate und Funktionen, vergrößert werden; dies entspricht dem Einsatz von Built-in-Funktionen in SQL.

So ist man etwa von der Betrachtung von Horn-Klauseln zu der Betrachtung beliebiger Klauseln übergegangen, d.h. man erlaubt negative Literale im Regelrumpf oder mehrere disjunktiv verknüpfte Literale im Regelkopf. In jedem dieser Fälle ist die Semantik der betrachteten Programme nicht mehr so naheliegend, da kein minimales Herbrand-Modell existieren muß. Außerdem verkomplizieren sich die Auswertungsverfahren für diese Art von Programmen erheblich.

Beispiel 8:

In der Verbindung/Weg-Datenbank sollen alle Städte berechnet werden, die weder von Karlsruhe, Stuttgart oder Mannheim erreichbar sind.

$$\begin{aligned} \text{Unerreichbar}(x) \text{ :-} & \quad \neg \text{Weg}(\text{Karlsruhe}, x), \\ & \quad \neg \text{Weg}(\text{Stuttgart}, x), \\ & \quad \neg \text{Weg}(\text{Mannheim}, x). \end{aligned} \quad \diamond$$

Es scheint bei der Negation natürlich sinnvoll zu sein, zuerst das negierte Prädikat (in Bsp. 8: 'Weg') vollständig zu berechnen, bevor man den Rest der Regel auswertet. Dies ist auch in der Theorie das übliche Vorgehen, allerdings ist es bei rekursiven Programmen i.a. nicht möglich, sodaß die Kombination von Rekursion und Negation oft ausgeschlossen wird. Man spricht dann auch von stratifizierten Programmen (s. [ABW86]).

Eine weitere wünschenswerte Erweiterung von DATALOG ist – wie bereits einleitend erwähnt – die Hinzunahme von Funktionssymbolen. Im Gegensatz zur formalen Logik sind damit keine uninterpretierten Funktionssymbole gemeint, sondern Built-In-Funktionen, die bei der Auswertung der Regeln ebenfalls ausgewertet werden (s. Bsp. 9).

Beispiel 9:

Es wird angenommen, daß in dem 'Verbindungs'-Prädikat eine dritte Stelle existiert, die die Entfernung zwischen zwei Orten angibt.

Dann berechnen die folgenden beiden Regeln alle Wege mit den zugehörigen Entfernungen:

Weg(X, Y, E) :- Verbindung(X, Y, E)
Weg(X, Y, E3) :- Verbindung(X, Z, E1),
Weg(Z, Y, E2), E3 = E1 + E2.

Man beachte, daß das Prädikat 'Weg' ohne die Built-In-Funktion '+' nicht in dieser Weise definiert werden könnte. \diamond

Eine letzte wesentliche Erweiterung von DATALOG ist die Betrachtung komplexer Objekte, d.h. von Attributwerten, die strukturiert sein können, also etwa aus einer Menge, einer Liste oder einem Tupel bestehen. Die Problematik dieser Erweiterung liegt darin begründet, daß man die wohlbekanntere Prädikatenlogik 1. Stufe an dieser Stelle verläßt, wenn man "mengenwertige Variablen" zuläßt. Man befindet sich dann in dem Formalismus der Prädikatenlogik 2. Stufe.

Desweiteren erfordert diese Erweiterung auch die Entwicklung neuer Auswertungsstrategien, etwa unterstützt durch eine Algebra für komplexe Objekte oder ein erweitertes Resolutionsverfahren. Gerade die Betrachtung komplexer Objekte innerhalb regelbasierter Sprachen ist Gegenstand jüngster Forschungsaktivitäten (s. etwa [HeS89], [AbG87], [BNR87]).

4. Zusammenfassung

Deduktive Datenbanksysteme sind entstanden aus einer Verknüpfung der konventionellen relationalen Datenverarbeitung mit der Wissensverarbeitung mittels logikorientierter Formalismen. Dabei werden Analogien zwischen der relationalen Datenbanktheorie und der Hornlogik ausgenutzt, um aus einem expliziten Datenbestand (Basisrelationen) implizite Information (virtuelle Relationen) mengenorientiert herleiten zu können.

Deduktive Datenbanksysteme ermöglichen folgende grundlegenden Verbesserungen des herkömmlichen relationalen Datenmanagements in einem einheitlichen Formalismus:

- beliebige Schachtelung von Views,
- rekursiv definierte Views und
- Berücksichtigung von Integritätsbedingungen.

Dabei kann bei einer Einschränkung auf die Sprache DATALOG eine effiziente Auswertung von Anfragen gewährleistet werden.

Laufende Arbeiten haben das Ziel, die Ausdrucksfähigkeit deduktiver Datenbanksprachen weiter zu steigern und dabei gleichermaßen die bisher erreichten Vorzüge – insbesondere die Effizienz – zu erhalten. Diesbezüglich gibt es Forschungsaktivitäten in vielen Bereichen, wobei wir die folgenden besonders hervorheben:

- Modellierung disjunktiver Information durch disjunktive Literale in Regelköpfen oder durch negierte Literale in Regelrumpfen,
- Einbindung von Built-in-Funktionen, und damit Integration von deduktiven und funktionalen Sprachen, sowie die
- Modellierung komplexer Objekte.

Allerdings gestalten sich diese Untersuchungen schwieriger als bei DATALOG, einerseits weil die formalen mathematischen Grundlagen dieser Spracherweiterungen von tiefgründigerer Natur sind als bei DATALOG, andererseits weil es u.a. an effizienten Methoden zur Auswertung von Programmen dieser Art noch fehlt.

Dennoch gibt es in diesem Bereich bereits einige Arbeiten, die erste theoretische und praktische Erfolge dokumentieren und zum Weiterarbeiten ermuntern.

5. Referenzen

[AbG 87]: S. Abiteboul, S. Grumbach: COL: A Logic-Based Language for Complex Objects, Rapports de Recherche No. 714, INRIA-Rocquencourt 1987

[ABW88]: K.R. Apt, H.A. Blair, A. Walker: Towards a Theory of Declarative Knowledge; in: Minker (ed.): Foundations of

Deductive Databases and Logic Programming. Morgan Kaufman Publishers, Inc. 1988

- [App85]: H.-J. Appelrath: Von Datenbanken zu Expertensystemen; Springer, Heidelberg 1985
- [BaRa86]: F. Bancilhon, R. Ramakrishnan: An amateur's introduction to recursive query processing strategies; in: [Nor86], S. 16 - 52
- [Bay85]: R. Bayer: Query evaluation and recursion in deductive database systems; TUM-I8508, Universität München 1985
- [BMSU86]: F. Bancilhon, D. Maier, Y. Sagiv, J.D. Ullman: Magic sets and other strange ways to implement logic programs; in: [Nor86], S. 1 - 15
- [BNR 87]: C. Beeri, S. Naqui, R. Ramakrishnan, O. Shmueli, S. Tsur, Sets and Negation in a Logic Database Language (LDL 1), Proc. of the 6th Symposium on Principles of Database Systems, 1987, S. 21 - 37
- [Boc86]: J. Bocca: EDUCE - a marriage of convenience: Prolog and a relational DBMS; Internal Report KB-19, ECRC, München 1986
- [BrJa86]: M.L. Brodie, M. Jarke: On integrating logic programming and databases; in: [Ker86a], S. 191 - 207
- [BrMy86]: M.L. Brodie, J. Mylopoulos: Knowledge bases and databases: semantic vs. computational theories of information; in: [ArCl86], S. 186 - 218
- [CFM86]: U.S. Chakravarthy, D.H. Fishman, J. Minker: Semantic query optimization in expert systems and database systems; in: [Ker86a], S. 659 - 674
- [ChWa86]: C.L. Chang, A. Walker: PROSQL: A Prolog programming interface with SQL/DS; in: [Ker86a], S. 233 - 246
- [CMG86]: U.S. Chakravarthy, J. Minker, J. Grant: Semantic query optimization: additional constraints and control strategies; in: [Ker86b], S. 259 - 269
- [Codd70]: E.F. Codd: A relational model of data for large shared data banks; Comm. ACM 13, 6 (Juni 1970), S. 377 - 387
- [GMN84]: H. Gallaire, J. Minker, J.-M. Nicolas: Logic and databases: a deductive approach; in: ACM Computing Surveys 16, 2 (Juni 1984), S. 153 - 185
- [HaKi85]: P. Harmon, D. King: Expertensysteme in der Praxis; Oldenbourg, München 1985
- [Hay85]: F.Hayes-Roth: Rule-based systems; Comm. ACM 28, 9 (September 1985), S. 921 - 932
- [HeNa84]: L.J. Henschen, S.A. Naqvi: On compiling queries in recursive first-order databases; in: J. ACM 31, 1 (Januar 1984), S. 47 - 85
- [HeS 89]: A.Heuer, P.Sander, Semantics and Evaluation of Rules over Complex Objects, Proc. of the 1st Int. Conference on Deductive and Object-Oriented Databases, Kyoto/Japan 1989
- [Jar86]: M. Jarke: External semantic query simplification: a graph-theoretic approach and its implementation in Prolog; in: [Ker86a], S. 675 - 692
- [JCV84]: M. Jarke, J. Clifford, Y. Vassiliou: An optimizing Prolog front-end to a relational query system; in: Proceedings of the ACM Conference on Management of Data, Boston 1984, S. 296 - 306
- [Llo87]: J.W. Lloyd: Foundations of Logic Programming; Springer, Heidelberg 1987 (second, extended edition)
- [MiWi86]: M. Missikoff, G. Wiederhold: Towards a unified approach for expert and database systems; in: [Ker86a], S. 383 - 399
- [Pre89]: N. Preiß: Ein Konzept für die Deduktive Erweiterung eines Relationalen Datenbank-systems, Dissertation, Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren, Universität Karlsruhe, 1989
- [RaLu88]: R. Ramnarayan, H. Lu: A data/knowledge base management testbed and experimental results on data/knowledge base query and update processing; in: [BoLa88], S. 387 - 395
- [Rei84]: R. Reiter: Towards a logical reconstruction of relational database theory; in: M.L. Brodie, J. Mylopoulos, J.W. Schmidt (Hrg.): On Conceptual Modelling, Springer, Heidelberg 1984, S. 191 - 233
- [SSt83]: G. Schlageter, W. Stucky: Datenbanksysteme: Konzepte und Modelle; B.G. Teubner, Stuttgart 1983 (2. Auflage)
- [Ull85]: J.D. Ullman: Implementation of logical query languages for databases; in: ACM Trans. Database Syst. 10, 3 (September 1985), S. 289 - 321
- [Ull88]: J.D. Ullman: Principles of Database and Knowledge-Base Systems; Computer Science Press, Inc., Rockville 1988
- [vEK 76]: M.H. van Emden, R.A. Kowalski, The Semantics of Predicate Logic as a Programming Language, Journal of the Association for Computing Machinery, Vol. 23, No. 4, Okt. 1976, S. 733 - 742

- [Wat86]: D.A. Waterman: A Guide to Expert Systems; Addison-Wesley, Massachusetts 1986
- [Yok84]: H. Yokota, S. Kunifuji, T. Kakuta, N. Miyazaki, S. Shibayama, K. Murakami: An enhanced inference mechanism for generating relational algebra queries; in: Proceedings of the 3rd Annual ACM Symposium on Principles of Database Systems, Waterloo, Canada 1984, S. 229 - 238

Typvererbung in objektorientierten Datenbanken oder: Sind Zirkuselefanten scheu?

Jürgen Wolff von Gudenberg
Universität Karlsruhe

1. Objektorientierte Datenrepräsentation

Eine objektorientierte Datenbank ist ein Netzwerk von Objekten und verschiedenen Beziehungen. Als Objekte kommen infrage: Individuen, Konzepte oder Klassen, Eigenschaften oder Attribute.

Wir betrachten hier die is-a-Beziehung, d.h. ein Individuum ist ein Element einer Klasse oder eine Klasse ist Teil einer Oberklasse. Eigenschaften verwirklichen wir durch eigene Konzepte.

In einem solchen Netzwerk lassen sich nun die folgenden Operationen durchführen:

- o Verdichtung der Information durch Eigenschaft für ein Konzept statt vieler gleicher Eigenschaften für Individuen
- o Zusammensetzung von komplexen Objekten
- o Aufbau von Hierarchien durch Bilden von
 - Teilklassen und
 - Oberklassen.

Wir können also zwei Aspekte betrachten,

- o einerseits die Spezialisierung, d.h. den Übergang von einer Klasse zu einer Teilklassse,

- o andererseits die Generalisierung, d.h. den Übergang von einer Teilklasse zu einer Klasse.

Als Beispiel für eine objektorientierte Datenbank geben wir folgendes Netzwerk an:

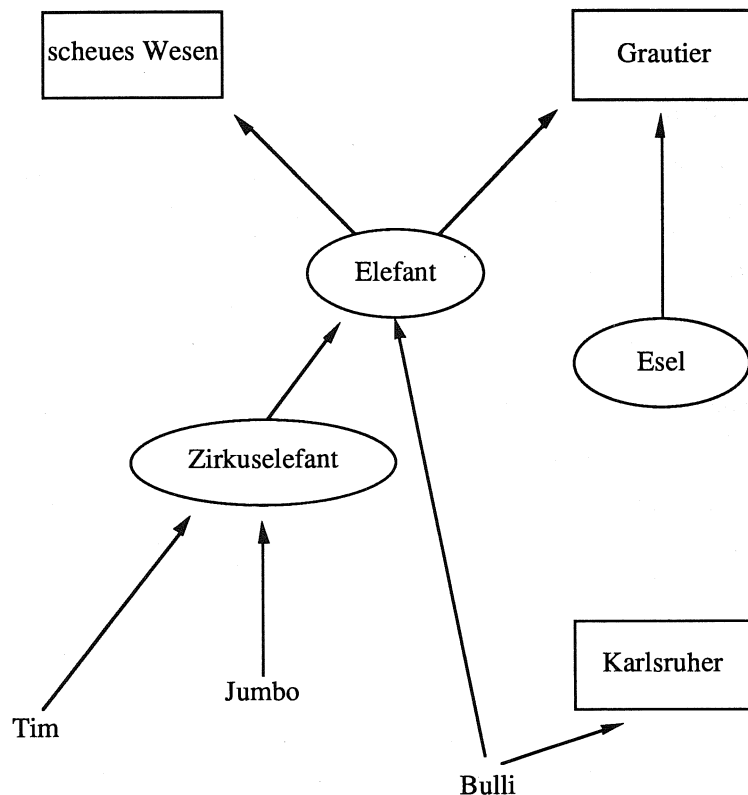


Bild 1

Die Pfeile geben die is-a Relation wieder. Klassen wie Elefant oder Esel sind oval eingerahmt, durch Eigenschaften erzeugte Klassen rechteckig. Individuen haben keinen Rahmen.

Aus dem Bild läßt sich unmittelbar ablesen, daß Elefanten scheue Wesen sind und Jumbo und Tim Zirkuselefanten sind. Sind nun alle Zirkuselefanten scheu?

2. Vererbungssysteme

Wir wollen also Beziehungen zwischen Knoten herleiten, die nicht direkte Nachbarn im Netzwerk sind.

Gegeben sei eine Menge von Individuen \mathcal{I} und eine Menge von Konzepten \mathcal{K} , wir bezeichnen mit $\mathcal{A} = \mathcal{I} \cup \mathcal{K}$ das Universum der betrachteten Objekte.

Über diesem Universum sei eine Relation $\Gamma = \{ \langle a, p \rangle \mid a \in \mathcal{A}, p \in \mathcal{K} \}$ gegeben, die durch einen Graph dargestellt wird.

Def.: Ein Vererbungssystem ist ein Paar (\mathcal{A}, Γ) .

Die Relation Γ läßt sich logisch beschreiben durch folgende Tabelle:

Aussage	log. Beschreibung	Beispiel
$\langle a, p \rangle$	$p(a)$	elefant (bulli)
$\langle q, p \rangle$	$\forall x : q(x) \rightarrow p(x)$	esel (x) → grautier (x)

Def.: Ein Vererbungssystem (\mathcal{A}, Γ) heißt Taxonomie, wenn Γ partielle Ordnung ist und $\langle x, z \rangle \in \Gamma \wedge \langle x, y \rangle \in \Gamma \rightarrow y = z$

Bemerkung:

In Taxonomien ist Mehrfachvererbung unmöglich, der Graph zu G besteht aus mehreren Bäumen, d.h. jeder Knoten hat höchstens einen Nachfolger.

Beispiel: Durch Weglassen des Konzeptes Karlsruher und der Beziehung, daß ein Elefant ein Grautier ist, wird Bild 1 zu einer Taxonomie.

Da die Relation Γ in Taxonomien transitiv ist, treten keine Schwierigkeiten auf, wenn wir nicht direkt verbundene Konzepte zueinander in Beziehung setzen wollen. Nach Bild 1 sind also Tim und Jumbo scheue Wesen. Schwierigkeiten treten erst auf, wenn wir Negation, d.h. Ausnahmen zulassen oder auch Ungewißheit betrachten wollen. Das wollen wir im folgenden tun, wir wollen also jetzt sagen, daß wir in unserem objektorientierten System nicht nur Beziehungen haben: "ein Objekt ist ein Teil eines anderen Objektes", sondern auch Beziehungen: "ein Objekt ist nicht ein Teil eines anderen Objektes" oder: "ich weiß für dieses Objekt nicht, ob es Teil eines anderen Objektes ist".

In der Relation Γ drücken wir das durch vorzeichenbehaftete Konzepte aus: $p, \neg p, \sim p$.

Im Graph zeichnen wir dafür verschiedene Kanten.

Die einzelnen Aussagen lassen sich wieder durch logische Formeln beschreiben; hier müssen wir allerdings, da wir ja Ungewissheit auch zulassen wollen, zu nicht-monotoner Logik übergehen. Der Operator M in der folgenden Tabelle bedeutet etwa: möglicherweise gilt.

Aussage	log. Beschreibung	Kante
$\langle a, p \rangle$	$p(a)$	$a \rightarrow p$
$\langle a, \neg p \rangle$	$\neg p(a)$	$a \nrightarrow p$
$\langle a, \sim p \rangle$	$M[p(a)] \wedge M[\neg p(a)]$	$a \rightsquigarrow p$
$\langle q, p \rangle$	$q(x) \wedge M[p(x)] \rightarrow p(x)$	$q \rightarrow p$
$\langle q, \neg p \rangle$	$q(x) \wedge M[\neg p(x)] \rightarrow \neg p(x)$	$q \nrightarrow p$
$\langle q, \sim p \rangle$	$q(x) \wedge M[[p(x)] \wedge M[\neg p(x)]] \rightarrow M[p(x)] \wedge M[\neg p(x)]$	$q \rightsquigarrow p$

Def: Ein Vererbungssystem (\mathcal{K}, Γ) heißt Klassen / Eigenschaftssystem falls Γ azyklisch bzgl. \rightarrow und falls die Knoten, die Endpunkt einer \rightsquigarrow oder \nrightarrow Kante sind, Endknoten sind. Die Endknoten heißen Eigenschaftsknoten, die anderen Klassenknoten.

Gilt $\langle x, z \rangle \in \Gamma \wedge \langle x, y \rangle \in \Gamma \rightarrow y = z$ für Klassenknoten x, y, z so heißt das System eine Klassenhierarchie.

Beispiele für Klassenhierarchien sind etwa das Klassenkonzept in Simula oder C++ und die abgeleiteten Typen in Ada.

Hierbei ist der Begriff Klasse gleich dem Begriff Typ zu setzen, der Begriff Eigenschaft gleich dem Begriff Attribut.

Damit haben wir folgende Charakteristika:

Ein Untertyp erbt alle Attribute des Obertyps, neue Attribute können hinzukommen, und die alten können überschrieben werden.

In unserem Elefantenbeispiel fügen wir nun zwei neue Kanten ein: einmal sagen wir, daß Zirkuselefanten nicht scheu sind, und dann wir von Tim, der ein Zirkuselefant ist, nicht wissen, ob er scheu ist oder nicht. Es ergibt sich das folgende Bild (s. Bild 2).

3. Semantik der Typvererbung

Unser Ziel ist es nun wiederum, eine Aussage über Individuen und Konzepte zu treffen, die nicht direkte Nachbarn sind. Dabei müssen wir beachten, daß die Relation Γ nun nicht mehr transitiv ist. Es geht also um den Aufbau von Vererbungsketten oder Erbfolgen $\langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$. Dazu treffen wir folgende Verabredungen und Definitionen:

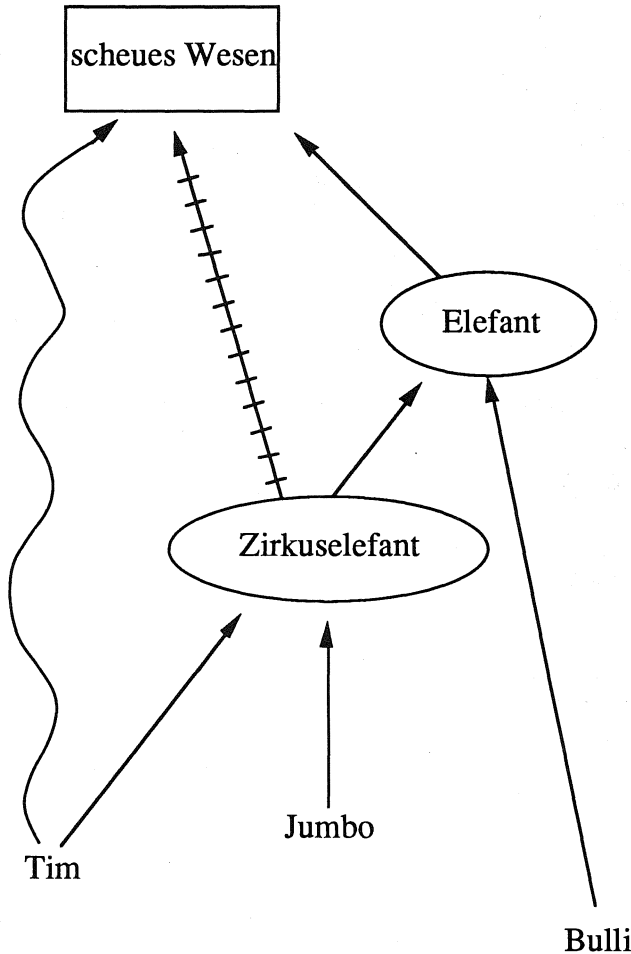


Bild 2

Bezeichne $\mathcal{V} = \mathcal{B} \cup \neg \mathcal{B} \cup \sim \mathcal{B}$ die Menge der vorzeichenbehafteten Konzepte. Für $x \in \mathcal{B}$ bezeichne x' das Konzept mit einem unterschiedlichen Vorzeichen.

Def: $\Psi = \{ \langle x_1, \dots, x_i \rangle \mid x_k \in \mathcal{V}, 1 \leq k \leq i, 2 \leq i < \infty \}$
 sei Menge von Erbfolgen. Dann heißt

$C(\Psi) = \{ \langle x_1, x_i \rangle \mid \langle x_1, \dots, x_i \rangle \in \Psi \}$ Menge der Schlußfolgerungen.

Eine Erbfolge $\sigma = \langle x_1, \dots, x_n \rangle$ ist ererbbar in Ψ gdw
 $n > 2 \wedge \langle x_1, \dots, x_{n-1} \rangle \in \Psi \wedge \langle x_2, \dots, x_n \rangle \in \Psi$
 $\wedge \langle x_1, x_i' \rangle \notin C(\Psi), 2 \leq i \leq n$
 $\wedge \langle y, x_n' \rangle \notin C(\Psi)$ für $y = x_i \vee \langle x_1, \dots, x_i, \dots, y, \dots, x_{i+1} \rangle \in \Psi, 1 \leq i < n$

Eine gegen Ererbbarkeit abgeschlossene Obermenge $\Psi \supseteq \Gamma$ heißt verankerte Erweiterung
 falls $\sigma \in \Psi - \Gamma \Rightarrow \sigma$ ererbbar in Ψ

Bsp: $\Psi = \Gamma \cup \{ \langle t, Z, E \rangle, \langle j, Z, E \rangle, \langle j, Z, \neg S \rangle, \langle b, E, S \rangle \}$
 ist verankerte Erweiterung von Γ nach Bild 2.

Bemerkung:

Die Definition der Ererbbarkeit setzt voraus, daß maximal überlappende Teilfolgen in der Menge vorhanden sind. Ferner darf für ein Element x_i einer Erbfolge nicht eine Schlußfolgerung enthalten sein, die das x_i' folgern läßt. Desweiteren darf für Zwischenpunkte y , die innerhalb der Folge σ liegen oder auch über Umwege innerhalb der Folge σ eingebaut werden können, nicht x_n mit unterschiedlichem Vorzeichen aus y direkt gefolgert werden.

Auf unser Beispiel angewendet heißt das, daß, obwohl Tim ein Zirkuselefant ist, Zirkuselefanten Elefanten sind und Elefanten scheue Wesen sind, wir nicht folgern dürfen, daß Tim ein scheues Wesen ist, und zwar aus zwei Gründen: Einmal ist die Aussage "es ist ungewiß, ob Tim ein scheues Wesen ist" direkt in der Menge Ψ , also auch in der Menge der Schlußfolgerungen enthalten, zum zweiten ist auch von dem Zwischenpunkt Zirkuselefant eine direkte Kante nach scheues Wesen, die eine Verneinung bedeutet, enthalten.

Um eine formale Beschreibung eines Vererbungssystems zu erhalten, ordnet man jedem Konzept ein Prädikat zu und beschreibt das Verhalten durch Verknüpfung der Prädikate.

Taxonomien

Jedem Typ (Konzept, Individuum) wird ein Prädikat zugeordnet, welches wahr ist für alle Untertypen oder Individuen, die bezüglich der Relation Γ kleiner oder gleich sind.

$$y \rightarrow P_y \quad \text{mit } P_y(x) = \text{wahr gdw } x \in T_y \\ T_y = \{x \in \mathbb{P} \mid x < y\} \cup \{y\}$$

Ein Typ wird also durch Angabe aller Elemente und Untertypen erklärt.

- y_1 Untertyp von y_2 gdw $P_{y_1} \wedge P_{y_2} = P_{y_1}$
gdw $T_{y_1} \subseteq T_{y_2}$

Die Prädikate P_y bilden eine boolesche Algebra mit \wedge, \vee, \neg , die zu der Teilmengenalgebra der T_y mit \cap, \cup , Komplementbildung und zur Algebra $\{0,1\}$ isomorph ist.

Klassenhierarchien

Die einfache extensionale Semantik gilt hier nicht wegen Ausnahmen und Ungewißheit.

Wir schreiben im folgenden T für wahr, F für falsch und Q für ungewiß.

Jedem Typ wird ein 3-wertiges Prädikat E_y zugeordnet mit

$$E_y(x) = T \text{ gdw } x \in T_y = \{y\} \cup \{x \mid \langle x, y \rangle \in C(\Psi)\} \\ E_y(x) = F \text{ gdw } x \in F_y = \{x \mid \langle x, \neg y \rangle \in C(\Psi)\} \\ E_y(x) = Q \text{ sonst}$$

Dabei ist Ψ eine verankerte Erweiterung von Γ

- y_1 Untertyp von y_2
gdw $E_{y_1} \wedge E_{y_2} = E_{y_1}$
gdw $T_{y_1} \cap T_{y_2} = T_{y_1} \wedge F_{y_1} \cup F_{y_2} = F_{y_1}$

Wählt man für die Verknüpfung der Prädikate die 3-wertigen Operationen \wedge, \vee , so bilden die Prädikate einen distributiven Verband:

$$(T \wedge Q = Q, F \wedge Q = F, Q \wedge Q = Q, \\ T \vee Q = T, F \vee Q = Q, Q \vee Q = Q)$$

Wegen $\neg Q \wedge Q = Q$ liegt keine boolesche Algebra vor.

Wir betrachten ein Beispiel zum Bild 2:

$$\mathbb{P} = \{t, j, b, Z, E, S\}$$

Γ wie gehabt

$E_t = T Q Q Q Q Q$	$T_t = \{t\} F_t = \emptyset$
$E_j = Q T Q Q Q Q$	$T_j = \{j\} F_j = \emptyset$
$E_b = Q Q T Q Q Q$	$T_b = \{b\} F_b = \emptyset$
$E_Z = T T Q T Q Q$	$T_Z = \{t, j, Z\} F_Z = \emptyset$
$E_E = T T T T T Q$	$T_E = \{t, j, b, Z, E\} F_E = \emptyset Q_E = \{S\}$
$E_S = Q F T F T T$	$T_S = \{b, E, S\} F_S = \{j, Z\} Q_S = \{t\}$

Anfragen wie "Welche Tiere sind Elefanten?" lassen sich mit Hilfe dieser Prädikate beantworten.

Die Extensionsmengen entsprechen der intensionalen Semantik: "Solange nichts anderes bekannt ist, sind Elefanten scheu."

Anfragen wie "Welche Eigenschaften haben typische Elefanten?" lassen sich durch Zuordnen von anderen Prädikaten und Aufbau des entsprechenden Verbandes beantworten.

$\mathbb{P} \ni k \rightarrow A_k$ mit

$$\begin{aligned} A_k(x) &= T \text{ gdw } x \in T^k = \{k\} \cup \{x \mid \langle k, x \rangle \in C(\Psi)\} \\ &= F \text{ gdw } x \in F^k = \{x \mid \langle k, \neg x \rangle \in C(\Psi)\} \\ &= Q \text{ sonst} \end{aligned}$$

Satz $A_k(x) = E_x(k)$

Bsp.

$A_t = T Q Q T T Q$	$T^t = \{t, Z, E\} F^t = \emptyset$
$A_j = Q T Q T T Q$	$T^j = \{j, Z, E\} F^j = \{S\}$
$A_b = Q Q T Q T T$	$T^b = \{b, E, S\} F^b = \emptyset$
$A_Z = Q Q Q T T F$	$T^Z = \{Z, E\} F^Z = \{S\}$
$A_E = Q Q Q Q T T$	$T^E = \{E, S\} F^E = \emptyset$
$A_S = Q Q Q Q Q T$	$T^S = \{S\} F^S = \emptyset$

Literatur:

J.P. Gilbert/L. Bic:

Asynchronous Data Retrieval from an Object-Oriented Database. ECOOP '88 Proceedings, Lect. Notes in Comp. Science 322, p 335-349 Springer 1988

C. Lecuse, P. Richard, F. Velez:

O2 an Object-Oriented Data Model. SIGMOD Net Conf. on Management of Data Processing 1988, p 424 - 433, ACM 1988

D. Touretzky:

The Mathematics of Inheritance Systems. Pitman, London 1986