Modul 2: Wissens-Organisation und Informatik

„Das menschliche Gedächtnis ist kein einheitliches Ablagesystem, sondern untergliedert sich in funktionale Subsysteme mit verschiedenen Wissensformen und mentalen Repräsentationen. In unseren Köpfen gibt es nicht nur eine Sorte Wissen, sondern verschiedene Wissensformen, die je nach Aufgabe und Anforderung unterschiedlich genutzt werden können."

Engelkamp 1990, zitiert von Ballstaedt, Angewandte Kognitionswissenschaft an der Uni Tübingen

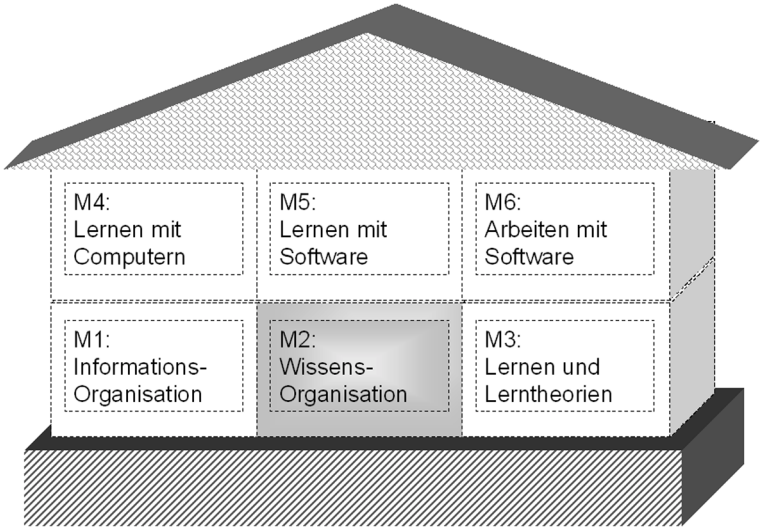
Lernziele

Nochmals müssen wir den Unterschied zwischen Information und Wissen klären und die Wichtigkeit von Wissensmanagement für unsere Wissensgesellschaft erkennen. Mit dem Verständnis verschiedener **Wissenstheorien** und der Unterscheidung verschiedener **Wissensarten** wenden wir uns der **Wissens-Organisation** zu. Das ist grundlegend, um Problemlösen und maschinelle Wissensverarbeitung zu ermöglichen.

Wissensmanagement

Wissenstheorien

Problemlösen und maschinelle Wissensverarbeitung



1 Wissen versus Information 54
1.1 Wissen 54
1.2 Denken 56
1.3 Können 57
1.4 Wissensgesellschaft 57
1.5 Wissensmanagement 57
2 Epistemologie: Theorien des Wissens 59
2.1 Frühe Theorien 59
2.2 Objektivistische Wissenstheorie 59
2.3 Konstruktivistische Wissenstheorie 60
2.4 Informationstheoretische Wissenstheorie 61
3 Arten des Wissens 61
3.1 Übersicht 61
3.2 Deklaratives Wissen 62
3.3 Konzeptuelles Wissen 63
3.4 Prozedurales Wissen 64
3.5 Unsicheres Wissen 66
4 Wissens-Organisation im Gedächtnis 67
4.1 Assoziationstheorie 67
4.2 Semantische Netzwerke 68
4.2.1 Kategorie 69
4.2.2 Schema 71
4.3 Frames und Slots 73
4.4 Skript 74
4.5 Handlungswissen: Experten – Novizen 75
5 Problemlösen 76
5.1 Problemarten und Lösungsstrategien 76
5.2 Interpolationsproblem 77
5.3 Syntheseproblem 78
5.4 Dialektisches Problem 79
6 Wissensverarbeitung 80
6.1 Wissensspeicher 80
6.2 Wissensfindung 82
6.2.1 Internet-Suche 82
6.2.2 Multimedia-Suche 83
6.2.3 Informationsflut 85
6.3 Wissensrepräsentation in Computern 85
6.3.1 Implizites Wissen 86
6.3.2 Explizites Wissen 87
6.4 Künstliche Intelligenz 88
6.5 Expertensysteme 90
7 Modulkurzzusammenfassung 95
8 Modulanhang 96
8.1 Literatur 96
8.1.1 Bücher 96
8.1.2 Artikel 97
8.1.3 Books in English 97
8.1.4 Articles in English 98
8.1.5 Journals 98
8.2 Internet-Links: 99
8.3 Prüfungsfragen 99
8.4 Lösungen 100
8.5 Timeline: Wissen 101

Wissen und Information wachsen exponentiell. Dabei sind wir erst am Anfang einer so genannten „Wissensgesellschaft“: Immer schneller wird handlungsrelevantes Wissen notwendig, um spezifische Probleme zu lösen. Computer haben dabei einen wesentlichen Anteil. Wissensrecherchen werden in Zukunft durch vernetzte Computer via Internet immer schneller und durch effiziente Suchmaschinen auch immer brauchbarer.

Bild 2.1 Wissensmanagement beginnt schon sehr früh …

Wissen ist zweifelsohne ein *entscheidender* industrieller **Produktionsfaktor** unserer Zeit. Ohne zielorientierte Anwendung von vorhandenem Wissen sind Innovation und Optimierung von Produkten oder Serviceleistungen nicht möglich. Wissen ist in einer Organisation an vielen verschiedenen Orten „gespeichert“. In den Gehirnen der Mitarbeiter genauso wie in Datenbanken von Computern. Über den Erfolg eines Unternehmens im globalen Wettbewerb entscheidet, wie nun das vorhandene Wissen möglichst *schnell* und *richtig* eingesetzt wird.

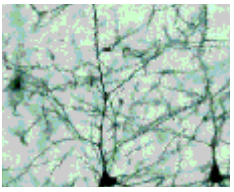


Bild 2.2 Intelligente Wissensorganisation: die Selbstorganisation des menschlichen Gehirns als Vorbild

Wissensmanagement heißt, das Wissen im Bedarfsfall *rasch* und einfach zugänglich und vor allem auf ein konkretes Problem anwendbar zu machen. Es müssen aber auch Strategien entwickelt werden, wie und an welchen Stellen das Wissen gezielt *adaptiert* und *erweitert* werden kann. Wissensmanagement ist also nicht in erster Linie ein reines Informatik-Problem.

Orientierungslosigkeit: Was ist wichtig? Was sollen wir wissen und wozu?

Neue Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) stellen aber ein bislang nicht gekanntes Potential zum Umgang mit Information und Wissen bereit, allerdings mit dem potentiellen Nachteil, einer schier ungebremsten **Wissensflut** ausgesetzt zu sein, die naturgemäß ein Gefühl der Orientierungslosigkeit verbreitet.

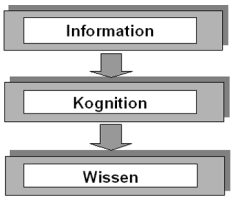


Bild 2.3 Von der Information über die Kognition zum Wissen

1 Wissen versus Information

1.1 Wissen

Wissen ist ein anderer „Stoff" als Geld, Maschinen oder Personal. Wissen ist auch mehr als Information. Erst durch *kognitive Prozesse* wird Information zu Wissen verarbeitet (Bild 2.3). Werden die Begriffe genauer definiert und hierarchisch angeordnet, ergibt sich eine Hierarchie wie in Bild 2.4. Hier werden auch die unterschiedlichen Aufgaben von Informationsmanagement und Wissensmanagement deutlich.

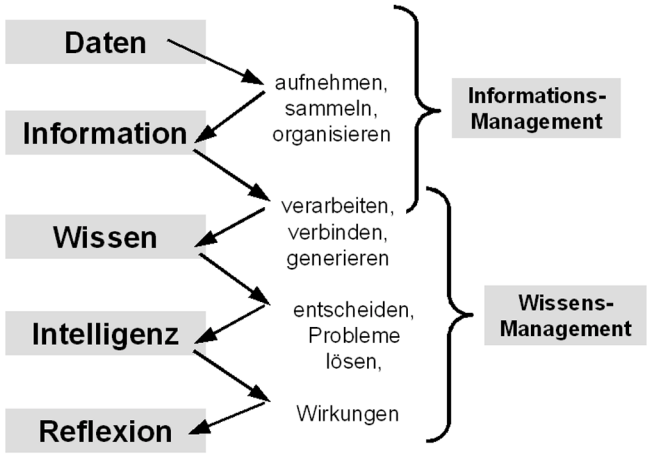


Bild 2.4 Die Aufgaben von Informationsmanagement und Wissensmanagement

Es gibt traditionsgemäß eine Fülle verschiedener Definitionen für den Begriff „Wissen". Der sehr verschiedenartige Gebrauch dieses Begriffes macht es sehr schwierig zu sagen, was Wissen „wirklich" sein soll.

In der Philosophie wird seit ARISTOTELES der Begriff „Wissen" traditionell an drei Forderungen geknüpft: Wenn *p* weiß, dass *x*, dann muss gelten:

Wissen und Wissensrepräsentation stellen Zentralbegriffe und Hauptarbeitsgebiete der Kognitionswissenschaft dar

- *x* ist tatsächlich der Fall (Wissen ist in dieser Definition immer wahr),
- p glaubt, dass *x* der Fall ist und
- p kann Gründe angeben, warum *x* der Fall ist.

In der Psychologie ist Wissen lediglich ein (relativ) dauerhafter **Inhalt des Langzeitgedächtnisses** (vgl. Modul 1, Gedächtnis). In der Kognitionswissenschaft ist Wissen eine Menge von systeminternen Repräsentationen (Wissensinhalten), die zusammen mit Inferenztechniken (logische Schlußfolgerungen) ein kognitives System (beispielsweise unser Gehirn) zum aktiven **Problemlösen** (Bewältigung intelligenter Handlungen) befähigt.

In der Informatik ist „Wissen“ der Inhalt einer „Wissensbasis“ eines Informationssystems.

Es existiert eine Fülle von Spezialisierungen des Wissensbegriffes:

Wissenschaftliches Wissen ist die Menge der in einer (wissenschaftlichen) Sozietät („scientific community“) akzeptierten Behauptungen. Nach MATURANA (1984) erfüllt wissenschaftliches Wissen im wesentlichen die Bedingung, dass dieses Wissen ein System charakterisiert, das ein zu erklärendes Phänomen erzeugt.

In traditioneller (behavioristischer) Form heißt Wissen die Menge von **Eigenschaftszuschreibungen:**

„Ich weiß, dass ein Apfel grün sein kann, ... dass er nicht blau sein kann, ... dass er aber durchaus blau sein kann, wenn er entsprechend beleuchtet oder bemalt ist, ... usw.“

Eigenschafts-zuschreibung als mentale Operation

Eine Eigenschaftszuschreibung kann als mentale Operation verstanden werden. Eine **mentale Operation** ist ein elementarer (atomarer) Schritt einer kognitiven Tätigkeit (z.B. denken, erinnern, wahrnehmen, usw.).

Es gibt noch eine große Anzahl von gebräuchlichen Spezialisierungen des Begriffes „Wissen“, hier nur eine Auswahl:

Allgemeines Wissen (general knowledge), kulturspezifisches Alltagswissen (common sense knowledge). Dessen Prüfung liegt die Idee des Turing-Tests (siehe Kapitel 6.4) zugrunde.

Deklaratives Wissen (declarative knowledge), Faktenwissen, Kenntnis von Sachverhalten (siehe Kapitel 3.2).

Fachwissen (domain knowledge), bereichsspezifisches Wissen.

Fehlerhaftes Wissen kann sich oft über einen langen Zeitraum etablieren (z.B. Erde ist eine Scheibe)

Fehlerhaftes Wissen (inappropriate knowledge), falsche Auffassungen von Lernenden („buggy rules“).

Konzeptuelles Wissen (conceptual knowledge), Konzeptwissen, Wissen über innerbegriffliche Relationen usw. (siehe Kapitel 3.3).

Meta-Wissen (meta knowledge), Wissen höherer Ordnung, Wissen darüber, wie Wissen eingesetzt werden kann.

Normatives Wissen (normative knowledge, norms), ethische Prinzipien, Gesetze, Datenschutzbestimmungen usw.

Prozedurales Wissen (procedural knowledge), Wissen, das in Handlungen (Problemlöseprozessen) eingesetzt werden kann (siehe Kapitel 3.4).

Unsicheres Wissen (uncertain knowledge), Wissen, das sich auf mehr oder weniger wahrscheinliche Sachverhalte bezieht (siehe Kapitel 3.5).

Weiters wird zwischen Wissen und Können unterschieden. Ich kann Radfahren, aber wenn ich sagen soll, was ich dabei tue, dann weiß ich es nicht. In der Literatur wird häufig von impliziten (inhärentem) oder stillschweigenden (tacit) Wissen gesprochen.

1.2 Denken

Eine erste psychologische Konzeption des Denkens in der neuzeitlichen Wissenschaft wurde von den Empiristen des 17. und 18. Jahrhunderts entwickelt. Das grundlegende Modell stammt von LOCKE (1689): Der Geist (Seele, Verstand) setzt sich aus einzelnen, nicht weiter zerlegbaren Elementen, den „einfachen Ideen", zusammen, die sich durch „Sensation" und „Reflexion", d.h. durch Sinneseindrücke und innere Wahrnehmung, dem zunächst von Vorstellungen freien Geist (tabula rasa) einprägen. Die geistige Tätigkeit (das Denken) besteht nun darin, aus den einfachen Ideen mittels Kombination, Inbeziehungsetzen und Abstraktion „komplexe Ideen" zu bilden – die durch Assoziation in Verbindung stehen.

Denken (thinking, reasoning) ist ein **interpretierender Schlussfolgerungsprozess:** Auf der Grundlage gegebener, aktueller Information wird *neue* Information abgeleitet und die verfügbare Information erweitert.

Zum Denken im engeren Sinne gehören das Problemlösen und das Gewinnen von Erkenntnissen. Denken im weiteren Sinn kann mit Kognition im Sinne einer umfassenden Informationsverarbeitung gleichgesetzt werden.

Die Prozesse des Denkens können nicht direkt beobachtet oder inhaltlich bestimmt werden. Auch haben wir über viele Denkvorgänge keine oder nur unzureichende Bewusstheit.

Denken ist ein **Prozess**, bei dem aktuelle Informationen aus der Umwelt mit bereits gespeicherten Informationen aus dem Gedächtnis durch eine Reihe kognitiver Operationen in Beziehung gesetzt werden.

Nach der Phänomenologie wird Denken unterschieden:

- **inhaltlich** in anschauliches, konkretes und abstraktes Denken,
- **strategisch** in diskursives, intuitives und systematisches Denken,
- **ergebniszentriert** in reproduktives und produktives Denken und
- **rationalistisch** in magisches, autistisches und rationales Denken.

1.3 Können

Unter Können (coping behaviour) wird in der Psychologie eine Bewältigung von Anforderungen (auch bei Änderung von Rand- und Anfangsbedingungen) verstanden. Grundlage dafür sind Fähigkeiten (abilities), Fertigkeiten (skills) und Einflussgrößen wie Intention, Einstellung, Ermüdbarkeit und Motivation (siehe Modul 6).

Oft wird „Können" auch mit **Kompetenz** („Sachverstand") verglichen. In der Kognitionswissenschaft wird Können (knowing how, Know-how) als prozedurales Wissen bezeichnet, das in Kapitel 5.4 besprochen wird.

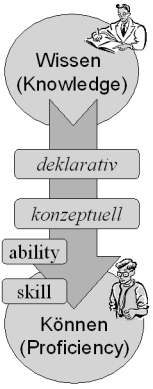


Bild 2.5 Vom theoretischen Wissen zum praktischen Können setzt ability (Fähigkeit) und skill (Geschick, Fertigkeiten) voraus

1.4 Wissensgesellschaft

Wissen und Information sind die entscheidenden Produktionsfaktoren unserer Zeit. Die Innovation von Produkten, die Optimierung von Wertschöpfungsprozessen und das Angebot bedarfsgerechter Serviceleistungen ist ohne die zielorientierte Anwendung des im Unternehmen vorhandenen Wissens nicht möglich.

Wissen ist in Organisationen an vielen Orten „abgespeichert": in den Köpfen der Mitarbeiter, in technischen Produktlösungen, in ausgefeilten Geschäftsprozessen und natürlich in Datenbanken. Über den Erfolg der Unternehmen im Wettbewerb entscheidet, wie sie auf dieses Wissen zugreifen, es nutzen und vermehren können.

Unternehmen nutzen in der Regel nur knapp 30 Prozent des Wissenspotentials ihrer Mitarbeiter. Das Wissen des Einzelnen ist aber entscheidend für den Erfolg seiner Arbeit und damit auch für den Geschäftserfolg eines Unternehmens.

Beispielsweise will Siemens die Wissensressourcen für den Nachwuchs zugänglich machen und ein internationales Wissensnetzwerk aufbauen, das ein gutes Beispiel für Interaktivität im Internet darstellt (siehe [W1]).

1.5 Wissensmanagement

Wissensmanagement bedeutet, das Wissen eines Unternehmens im Bedarfsfall einfach *zugänglich* zu machen sowie seine Anwendung auf das konkrete Problem zu unterstützen. Darüber hinaus muss Wissensmanagement aber

Bild 2.6 Wissensmanagement ist für viele Bereiche wichtig, z.B. für Logistiksysteme [W1]

Strategien entwickeln, *wie* und *an welchen Stellen* das Wissen des Unternehmens gezielt erweitert wird. Wissensmanagement kann also *nicht* in erster Linie ein Datenverarbeitungs-Problem sein. Vielmehr ist eine *Kultur* eines bereitwilligen Wissensaustauschs im Unternehmen zu schaffen und durch geeignete organisatorische Konzepte, wie z.B. „Produktkliniken", Workshop-Programme und Kreativitätstechniken usw. zu unterstützen. Die Datenverarbeitung schließlich bietet als *technisches Hilfsmittel* ebenfalls neue Lösungsansätze zum Wissensmanagement.

Nach TOM SOMMERLATTE, dem Chairman Management Consulting der Arthur D. Little Inc., ist das Ziel eines verbesserten Wissensmanagements, durch Innovationsvorsprung Wachstums- und Ertragsvorteile zu erringen. Seiner Ansicht nach sind dazu fünf Schritte erforderlich:

Wissenslandkarte = Lokalisation des vorhandenen Wissens

- Schritt 1: Im Unternehmen vorhandenes Wissen muss lokalisiert und transparent gemacht werden und so für alle Entscheidungs- und Innovationssituationen leicht zugänglich werden. Es geht darum, sozusagen eine **„Wissenslandkarte"** zu erstellen.

weiße Flecken auf der Wissenslandkarte = Wissenslücken

- Schritt 2: Die typischen Entscheidungs- und Innovationssituationen des Unternehmens müssen erfasst und ihre Wissensanforderungen charakterisiert werden. Daraus lassen sich **Wissenslücken** oder Wissensschwachstellen ableiten (die weißen Flecken auf der Wissenslandkarte). Daraus kann aber auch abgeleitet werden, welches neue oder zusätzliche Wissen auf welche gezielte Weise erworben werden muss, sei es durch Anwerben von kompetenten Wissensträgern, durch Kontaktaufnahmen mit externen Wissensquellen oder durch Verbesserung der Kommunikations- und Lernprozesse.

Schneller Zugang zu relevantem Wissen

- Schritt 3: Verbesserung der Wissensspeicherung und der **Zugangsgeschwindigkeit** zum gespeicherten Wissen. Hierfür muss ein flexibles Informations- und Dokumentationssystem eingesetzt werden. Das setzt eine Strukturierung des erforderlichen Wissens voraus (durch die Wissenslandkarte ersichtlich).

„stets auf dem Laufenden bleiben"

- Schritt 4: Wissen muss auch **proaktiv** an die Interessierten verteilt werden, sobald es neu entstanden ist. Dazu müssen die Mitarbeiter ihr Interessens- und Suchprofil ebenso eingeben, wie sie den Wissensbereich auf dem neuesten Stand halten müssen – für den sie zuständig und verantwortlich sind.

vorhandenes Wissen anwenden

- Schritt 5: Entscheidend ist, dass Wissen ständig für eine aktive Innovationsstrategie genutzt wird. Hier geht es darum, das Wissen um Kundenbedarf, um Defizite des Kundennutzens, um neue technische Möglichkeiten, um Wettbewerbsschwächen und anderes mehr in Innovationsideen und deren schlagkräftige Umsetzung in neue Produkte, Leistungen und Prozesse einzubringen. Dazu müssen **Innovationsanreize** für die Mitarbeiter geschaffen werden, dafür muss das Unternehmen aber vor allen Dingen eine **Innovationsstrategie** verfolgen.

2 Epistemologie: Theorien des Wissens

Was Wissen ist und welche Strukturen es aufweist, hat zu unterschiedlichen Theorien und Modellen geführt.

2.1 Frühe Theorien

Xenophanes von Kolophon (570 – 480 v. Chr.) war der erste Begründer der eleatischen Philosophie

Die Unterscheidung zwischen **Wissen** (griech.: episteme) und **Meinung** (griech.: doxa) ist in der griechischen Philosophie seit XENOPHANES geläufig. Er bestreitet, dass es ein Wissen gibt: *„Meinung liegt über allem."*

Gegründet wurde die stoische Schule von Zenon (333 – 261 v. Chr.)

Für das Wissen ist *nach stoischer Auffassung* eine Begründung oder **Argumentation** (logos) wesentlich: Wer etwas weiß, muss es auch begründen. Von Wissen kann nur dann die Rede sein, wenn die gewusste Aussage durch keinerlei Argumentation widerlegt werden kann. Wissen impliziert in diesem Sinne Wahrheit. Wenn ich p weiß, dann folgt daraus, dass p wahr ist. Anderenfalls *meine* ich lediglich, p zu wissen. Eine Meinung kann wahr sein, aber sie ist im Unterschied zum Wissen nicht notwendig wahr.

2.2 Objektivistische Wissenstheorie

Der Objektivismus entstammt der Kognitionsforschung, die vor allem von der Psychologie und der Informatik beeinflusst wurde.

Wissen wird als Ansammlung von Fakten und Regeln gesehen, die unabhängig von einzelnen Personen **objektiv** bestehen.

Dieses vorgegebene Wissen wird durch Lehrende an Lernende weitervermittelt, indem es (gut genug) strukturiert und inhaltlich reduziert wird. Am Ende dieses Wissenstransportes „besitzen" die Lernenden den gelernten Wissensausschnitt in genau derselben Form wie die Lehrenden.

Objektivismus ↔ Konstruktivismus

Der Konstruktivismus wendet sich strikt gegen diese Theorie, da diese Art des Lernens sowohl lebens- als auch berufsfremd sei. Die rein kognitive Ausrichtung des Unterrichts auf die Aneinanderreihung von Wissenselementen führe zu einer passiven Lernhaltung der Schüler, die keine Langzeitwirkung habe. Indem Wissen quasi „mechanisiert" wird, hat das zur Folge, dass die Lernenden Gelerntes zwar abrufen, aber keineswegs anwenden können, weil die Lerninhalte völlig isoliert existieren bzw. noch nicht einmal richtig verstanden worden sind.

Die Konstruktivisten gehen davon aus, dass es kein objektives Wissen gibt, das weitervermittelt werden kann. Stattdessen interpretiere und konstruiere jeder Mensch die Wirklich-

keit individuell unterschiedlich. Die Hauptaufgabe der Erziehung und Bildung müsse darin liegen, den Lernenden eine aktive Wissensaneignung zu ermöglichen, indem ihnen konkrete Probleme und Erlebnisse vorgelegt werden, aus denen sie ihr individuelles Wissen „herausziehen" können.

2.3 Konstruktivistische Wissenstheorie

Die konstruktivistische Wissenstheorie geht der Schwierigkeit der Skeptiker, ob Wissen überhaupt eine objektive Welt abbildet, auf eine elegante Art aus dem Wege. Nach PIAGET (siehe Modul 3, Kapitel 4.2), bei dem die Wurzeln dieser Wissenstheorie klar erkennbar sind, ist Wissen kein Abbild einer gegebenen Welt, sondern eine adaptive, innere Basis jeglicher Aktivität eines (individuellen) Menschen.

In der konstruktivistischen Wissenstheorie wird Wissen nicht als aufgenommenes und gespeichertes Produkt eines kognitiven Lernprozesses verstanden, sondern als internale Operationen, die der Mensch subjektiv und individuell wahrnimmt.

Dies zeigt sich beispielsweise daran, dass verschiedene Menschen dieselbe Aufgabe gut lösen, obwohl sie verschiedene Wissensrepräsentationen (Zugänge, Vorbildung, Vorkenntnisse) der Aufgabe haben können.

Wissen muss von jedem Individuum selbst „aufgebaut" werden und kann nicht von außen „importiert" werden

ERNST VON GLASERSFELD, ein Begründer der „konstruktivistischen Wissenstheorie", schließt daraus, dass Wissen von jedem Menschen *selbst* aufgebaut werden muss und nicht etwa durch einen schulischen Prozess von aussen „importiert" werden kann.

Damit steht diese Wissenstheorie in radikalem Gegensatz zu den klassischen Vorstellungen des Unterrichts als Wissenstransfer. Oder wie VARELA (1990) es ausdrückt: *„Das Gehirn ist ein Organ, das Welten festlegt, keine Welt spiegelt"*.

Im Gebiet des Wissensmanagements hat diese Auffassung zum so genannten „Anti-Repräsentationismus" geführt: Wissen repräsentiert nichts, sondern ist ein selbstreferentielles Identitäts-Merkmal derjenigen Organisation, die das Wissen in sich aufgebaut hat.

Die konstruktivistische Wissenstheorie bietet ein fundamental neues Paradigma für die **Selbstorganisation** von Lern- und Lehrprozessen. Wissen ist ein angepasstes internes Merkmal jedes Individuums, um die eigene Identität zu erhalten.

Jede Person baut ihre eigene subjektive Welt auf und organisiert diese, oder wie PIAGET *es formuliert: „Wer seine Erfahrung organisiert, organisiert die Welt".*

2.4 Informationstheoretische Wissenstheorie

In dieser Auffassung sind Wissen und Information (Band 1) das gleiche. Steigerung der Informationskapazität und vor allem der Verarbeitungsgeschwindigkeit steigert auch das Wissen. Ein (subjektives) „Lexikon“ (als geordnete Zusammenstellung von verbalen oder bildlich codierten Erfahrungsinhalten und Bedeutungen) organisiert das Wissen und macht es im Gedächtnis abrufbar. Aus der Sicht der Informationstheorie besteht Wissen immer aus Information mit einer dazugehörigen notwendigen Redundanz zu ihrer Absicherung (siehe Band 1).

Redundanz = überflüssige Elemente in einer Nachricht, die keine zusätzliche Information liefern, die Grundinformation aber stützen

Beispiel: Wenn uns berichtet wird, dass alle Schwäne weiß sind, so können wir diese Information zur Kenntnis nehmen – ihr Wahrheitsgehalt ist aber unbekannt. Wenn wir dagegen wiederholt beobachten konnten, dass Schwäne tatsächlich weiß sind, so gewinnen wir aus dieser Redundanz eine gewisse Sicherheit – die wir (im informationstheoretischen Sinn) als Wissen bezeichnen.

3 Arten des Wissens

3.1 Übersicht

Im Prinzip können die verschiedenen Wissensformen auf drei Arten von Wissen reduziert werden (Bild 2.7):

- deklaratives Wissen (declarative knowledge – Faktenwissen),
- konzeptuelles Wissen (conceptual knowledge – Konzeptwissen) und
- prozedurales Wissen (procedural knowledge – Strategiewissen).

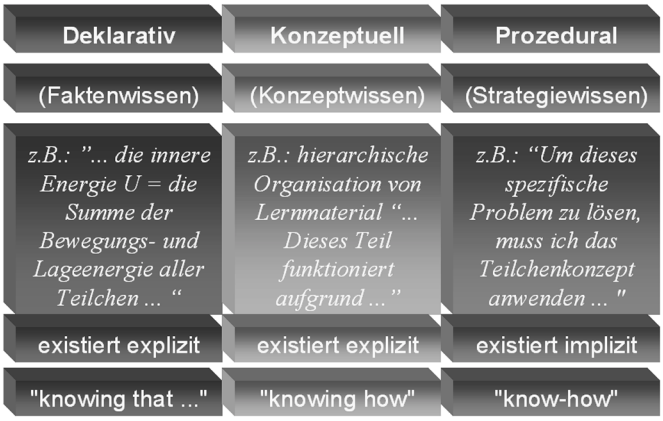


Bild 2.7 Die drei Arten von Wissen, zusammengefasst nach Anderson, 96, Strube et.al., 96 und Süss, 96

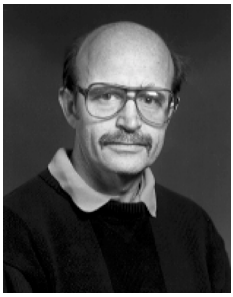


Bild 2.8 John R. Anderson von der Carnegie-Mellon University [W2]

3.2 Deklaratives Wissen

Das Wissen über einzelne Fakten, Sachverhalte und Dinge, kurz Faktenwissen, bezeichnet ANDERSON (1996) als deklaratives Wissen. Diesen Begriff verwendet er in Abgrenzung zum konzeptuellen Wissen, das bereits eine Organisation von Einzelwissen darstellt, und zum prozeduralen Wissen, das sich als Wissen wie ein Problem gelöst werden kann, beschreiben lässt.

Fakten sind z.B. Namen, Gegenstände, Länder, Ereignisse und insbesondere Formeln, Bezeichnungen und Definitionen.

Faktenwissen ist damit Wissen, das explizit im Gedächtnis vorhanden ist, dessen sich die Lernenden selbst bewusst sind und das abgerufen werden kann – also über das Auskunft gegeben werden kann.

Über die Vermittlung von Faktenwissen in der Schule schreibt AEBLI (1981) folgendes:

„In der Schule wird derartiges Wissen häufig als Faktenwissen bezeichnet. Man müsste hinzufügen: blindes, additives, daher wenig sinnvolles Faktenwissen. Denn Sinn ergibt sich [...] aus Sachbeziehungen und aus Einbettungen, die eine Struktur auf ihre Spitze hin aufbauen. Darum ist es langweilig solches Wissen zu lernen, und man vergisst es auch leicht .“ [AEBLI (1981), S. 240].

Erst wenn das Faktenwissen in hierarchisch organisierte Strukturen (und miteinander verknüpft aufgebaute, also vernetzte Systeme) eingebaut wird, dann spricht AEBLI von so genanntem „allgemeinen Wissen“ und ANDERSON von so genanntem „konzeptuellen Wissen“, das im Kapitel 3.3 beschrieben wird.

Fakten zu einem Problembereich sind meistens in Lehrbüchern enthalten. Sie stellen das fundamentale Basiswissen bereit – auf das weiteres Wissen aufgebaut werden kann.

Experten eignen sich dieses Wissen in ihrer Ausbildung (Studium, Fachausbildung) an, oder suchen es bei Bedarf in Wissensspeichern (z.B. Bücher, Manuals, Datenblätter, Internet usw.).

deklarativer Programmierstil

Mit *deklarativ* wird auch ein Programmierstil bezeichnet (auch prädikativ bzw. deskriptiv – im Gegensatz zu prozedural bzw. imperativ), bei dem eine an der Logik orientierte Darstellung eines Wissens über einen Fachbereich im Mittelpunkt steht (Fakten über Objekte, Ereignisse und Relationen zwischen diesen Ereignissen). Die Vorteile eines deklarativen Programmierstils

sind Flexibilität, leichte Veränderbarkeit der Programme, ökonomische Darstellung und eine Vollständigkeit und Korrektheit (Beispiel: PROLOG).

PROLOG = „PROgramming in LOGic"

In imperativen Programmiersprachen (z.B. BASIC, FORTRAN, PASCAL) werden Probleme gelöst, indem die Programmierer eine Folge von Anweisungen zusammenstellen. Durch die Exekution (Ausführung) dieser Anweisungen wird die Lösung erhalten.

In deklarativen Programmiersprachen (z.B. PROLOG) wird eigenes Wissen über das Problem formuliert. Das Programm versucht mit Hilfe dieses Wissens selbständig eine Lösung zu finden (siehe Kapitel 6.4 und z.B. in [W5]).

In der Sprache der Logik besteht Wissen aus einer Menge von wahren Aussagen. Wird eine Behauptung in ein PROLOG-Programm eingegeben, versucht dieses – auf Grundlage vorher eingegebenen Wissens – diese Behauptung zu beweisen.

Prinzipiell kann deklaratives Wissen durch zwei verschiedene Formen repräsentiert werden: entweder als

- Inhalt einer sprachlichen Äußerung (= Proposition) oder
- mittels einer bildlichen Darstellung.

Proposition = Satz als Informationseinheit – nicht im Hinblick auf die grammatische Form

Ein Beispiel für eine **propositionale Repräsentation** wäre: „Die menschliche Wirbelsäule besteht aus 29 Wirbeln". Der gleiche Sachverhalt kann auch durch eine bildliche Darstellung vermittelt werden.

Die Tatsache, dass das deklarative Wissen statisch ist, bedeutet nicht, dass es zeitlich invariant (unveränderlich) ist. Beispielsweise kann der medizinisch falsche Sachverhalt, dass ein Mensch 28 Wirbel hat, durch die korrekte Anzahl „29" ersetzt werden (z.B. die Lernenden darauf hinweisen). Die alten Fakten werden dabei nicht sofort „gelöscht", sondern die Lernenden könnten sich vielleicht einen Monat später noch daran erinnern, dass sie früher irrtümlicherweise angenommen hätten, dass der Mensch nur 28 Wirbel hat.

3.3 Konzeptuelles Wissen

Als konzeptuelles Wissen (conceptual knowledge) bezeichnet ANDERSON (1996) allgemein ein durch Abstraktion **hierarchisch organisiertes** und **miteinander vernetztes** Faktenwissen (Wissen über die Bedeutung von Begriffen und deren Merkmale und Relationen untereinander)

Die Repräsentation dieses konzeptuellen Wissens kann auf drei verschiedenen Arten erfolgen:

- in semantischen Netzwerken,
- in Schemata oder
- in Kategorien.

In Kapitel 4 werden diese Repräsentationen beschrieben.

3.4 Prozedurales Wissen

Als prozedurales Wissen bezeichnet ANDERSON (1996) das Wissen darüber, wie kognitive Aktivitäten und Operationen, insbesondere Operationen und Prozeduren zum Lösen von Problemen, ausgeführt werden.

Eine **Prozedur** ist eine Handlungsanweisung, die durch eine bestimmte Abfolge von Aktionen definiert ist.

Prozeduren legen fest, wie deklaratives und konzeptuelles Wissen über einen bestimmten Gegenstandsbereich zur (optimalen) Problemlösung einzusetzen ist. Damit sind sie geeignete Mittel zur Realisierung gegenstandsspezifischer **Heuristiken**.

Heuristik = Verfahren, um wahre Aussagen zu finden, im Unterschied zur Logik, die lehrt, wahre Aussagen zu begründen

Nach ANDERSON sind nahezu alle kognitiven Aktivitäten im Grunde genommen **Problemlöseprozesse**.

Als Hauptargument zur Stützung dieser These behauptet er in Anlehnung an NEWELL *(1980) und* TOLMAN *(1932), dass menschliche Kognition immer zweckgerichtet ist. Das heißt, der Mensch versucht stets Ziele zu erreichen und Hindernisse zu umgehen oder aus dem Weg zu räumen, die diesen Zielen im Weg stehen.*

Ein Beispiel dazu ist die klassische Untersuchung des Problemlöseverhaltens von Schimpansen von dem Gestaltpsychologen KÖHLER aus dem Jahre 1917:

Ein Affe sollte an Bananen herankommen, die außerhalb seines Käfigs waren. Dieses Problem konnte der Affe ganz leicht lösen, wenn ihm KÖHLER eine entsprechend lange Stange gab. Dann jedoch gab KÖHLER dem Affen zwei kurze Stangen, die jeweils nicht an die Bananen heranreichten. KÖHLER beobachtete das Verhalten des Affen: Nachdem dieser sich mit den einzelnen Stangen vergeblich abgemüht hatte, setzte sich der Affe frustriert auf den Käfigboden. Plötzlich aber steckte er die Stangen ineinander und konnte dadurch die Bananen heranholen. KÖHLER bezeichnete dieses Verhalten als **kreatives Problemlösen**.

ANDERSON nennt drei Merkmale solcher Problemlöseprozesse:

- **Zielgerichtetheit.** Das Problemlöseverhalten ist stets auf ein eindeutiges Ziel gerichtet. Im Beispiel von KÖHLER: Futter zu beschaffen.
- **Zerlegung in Teilziele.** Im Beispiel von KÖHLER: Der Affe zerlegte das eigentliche Ziel in Teilziele, z.B. zuerst die Stangen zu verbinden.
- **Anwendung von Operatoren.** Im Beispiel von KÖHLER: Für den Affen ist es sinnvoll, das Gesamtziel in Teilziele zu zerlegen, weil er Operatoren kennt, mit denen er die Teilziele erreichen kann. Durch Abarbeitung der einzelnen Operatoren wird dann das Gesamtziel erreicht.

Mit dem Begriff **Operator** wird eine Handlung bezeichnet, die den Problemzustand Z_n in den Problemzustand Z_n+1 transformiert. Die Aneinanderreihung von Einzelsequenzen aus bekannten Operatoren führt zur Lösung des Gesamtproblems.

Hätte z.B. der Versuchsaffe von KÖHLER *immer wieder dasselbe Problem gelöst, dann hätte dieser mit der Zeit die Einzelsequenzen zu einem einzigen Operator zusammengefasst, und man könnte nicht mehr von einer kreativen Problemlösung, sondern lediglich vom Abarbeiten einer gelernten Prozedur sprechen. Im Sinne der Definition von* DÖRNER *(1976) handelt es sich um die Lösung einer Aufgabe (nicht eines Problems).*

Als Beispiel für die Anwendung von prozeduralem Wissen soll folgendes Problem aus der Wärmelehre dienen: Was ist der Unterschied zwischen einem Eisblock mit einer Temperatur von –5 °C und einem Eisblock mit einer Temperatur von –30 °C. Um dieses Problem zu lösen ist es günstig das Konzept „Teilchenmodell“ anzuwenden.

Nach ANDERSON würde der Problemlöseprozess folgendermaßen ablaufen:

- 1. Zielgerichtetheit. In unserem Beispiel: Unterschiede zwischen den Eisblöcken zu finden (setzt voraus, dass überhaupt Unterschiede erkannt werden (siehe Kapitel 5.3).
- 2. Zerlegung in Teilziele. In unserem Beispiel: a) Die Eisblöcke in das Teilchenmodell überführen (und eventuell mit einer Hilfsskizze bildlich darstellen), b) die Ursache für den Unterschied in der Temperatur (Energieniveau) finden, c) qualitative Unterschiede feststellen (unterschiedliche „Schwirrbewegung“ der Teilchen, usw.)
- 3. Anwendung von Operatoren. In unserem Beispiel: Für die Lernenden ist es sinnvoll, das Gesamtziel (Erklärung der Unterschiede) in Teilziele (Punkt a) b) c) wie zuvor) zu zerlegen, weil sie Operatoren kennen (sollten), mit denen sie jeweils die Teilziele erreichen (z.B. den Aufbau der Materie als Teilchenmodell darstellen, Temperatur als Maß für den Energiezustand erkennen usw.). Durch schrittweise Abarbeitung der einzelnen Operationen können sie dann das Gesamtziel (Erklärung der Unterschiede) erreichen.

3.5 Unsicheres Wissen

In allen bisher besprochenen Repräsentationen wird Wissen immer in Form von *eindeutigen* Fakten, Regeln, Bedingungen oder Abbildungen gespeichert.

Oft ist es aber *nicht* möglich, eindeutige Aussagen über die reale Welt zu treffen oder einen strikten Zusammenhang zwischen einer Bedingung und deren Schlussfolgerung herzustellen. Dann können Aussagen und Schlussfolgerungen nur mit einer bestimmten Unsicherheit (uncertainty) getroffen werden.

Eine Möglichkeit, **Unsicherheit** darzustellen, ist die Angabe einer **Wahrscheinlichkeit** p(x) – mit der die jeweiligen Aussagen und Schlussfolgerungen zutreffen.

Nach GOTTLOB (1990) können Gründe für die Unsicherheit von Information sein:

- Inhärente (interne) Unsicherheit der Information (Toleranzen usw.),
- Unvollständigkeit der Information (fehlende Informationen werden durch Annahmen ersetzt → alle Schlussfolgerungen, die auf dieser Annahme basieren, sind unsicher.
- Unsicherheit von Schlussfolgerungen: Es kann kein strikter Zusammenhang zwischen Bedingung und Schlussfolgerung hergestellt werden, z.B.: „Wenn der Patient mehr als *x* °C Fieber hat, dann ist er mit der Wahrscheinlichkeit von p(x) = 0,7 an Grippe erkrankt."
- Zusammenfassung von Informationen aus mehreren Quellen; widersprechen sich z.B. die Aussagen von zwei Experten, so erhöht das die Unsicherheit dieser Aussagen.

p(x) = 0 ist ein unmögliches Ereignis; p(x) = 1 ist ein sicheres Ereignis

Unsicherheiten können auf zwei Arten dargestellt werden:

- **Symbolisch:** Dabei wird der Grad der Unsicherheit durch Elemente aus einer vorgegebenen Menge von Symbolen ausgedrückt, z.B. durch Begriffe wie „meistens", „beinahe", „immer" usw. Bei dieser Methode ist es aber schwierig, die Fortpflanzung der Unsicherheit beim Schlussfolgern zu berücksichtigen.
- **Numerisch:** Dabei wird die Unsicherheit durch Zuordnung von einem oder mehreren Zahlenwerten, z.B. der Wahrscheinlichkeit, ausgedrückt. Für die Darstellung der Fortpflanzung einer Unsicherheit gibt es mathematische Formalismen. Jedoch ist es oft überhaupt nicht möglich, einer Aussage oder Schlussfolgerung einen exakten Wahrscheinlichkeitswert zuzuordnen.

4 Wissensorganisation im Gedächtnis

4.1 Assoziationstheorie

Eine assoziative Arbeitsweise des menschlichen Gedächtnisses wurde schon früh angenommen. Bereits ARISTOTELES formulierte, dass der Lauf unserer Erinnerung bestimmt wird ...

*„ ... von Ähnlichem oder Gegenteiligem oder von dem, was nah zusammen ist: durch all das entsteht Erinnerung [*STRUBE*, 1984, S. 34].“*

In einem von GALTON (1880) durchgeführten Assoziationsexperiment wurde erstmals versucht, das Assoziationsverhalten von Menschen systematisch zu erfassen. Hierzu mussten Versuchspersonen auf ein einzelnes vorgegebenes Wort mit einem anderen Wort antworten – das ihnen zuerst einfiel.

Auf diese Weise ergaben sich systematische Tabellen mit Häufigkeiten, mit denen verschiedene assoziative Antworten auf bestimmte vorgegebene Stimuluswörter gegeben wurden. Solche Tabellen werden auch als Assoziationsnormen bezeichnet.

Der Physiologe DAVID HARTLEY (1749) meinte, dass sich eine Vielzahl vermuteter **Assoziationsgesetze** auf ein einziges reduzieren lässt, namentlich auf das Assoziationsgesetz durch **zeitliche Kontiguität.** Auch MILL (1869) war bereits der Auffassung, dass sich die Verknüpfung einander ähnelnder Objekte auf das Kontiguitätsprinzip zurückführen lässt: Ähnliche Objekte würden häufig gleichzeitig oder in unmittelbarer Folge wahrgenommen.

Kontiguität = Zusammentreffen von Reiz und Reaktion

Etwas später wurde das Kontiguitätsprinzip von WILLIAM JAMES (1890) sehr klar formuliert:

*„Objects once experienced together tend to become associated in the imagination, so that when any one of them is thought of, the others are likely to be thought of also, in the same order of sequence or coexistence as before. This statement we may name the law of mental association by contiguity [*JAMES*, 1890, S. 561].“*

In der heutigen Kognitionswissenschaft wird jedoch überwiegend die Ansicht vertreten, dass das Kontiguitätsgesetz *allein* nicht ausreicht, um die in Assoziationsversuchen ermittelten Wortassoziationen zu erklären.

Nach CLARK (1970) sind freie Assoziationen das Ergebnis von symbolischen informationsverarbeitenden Prozessen.

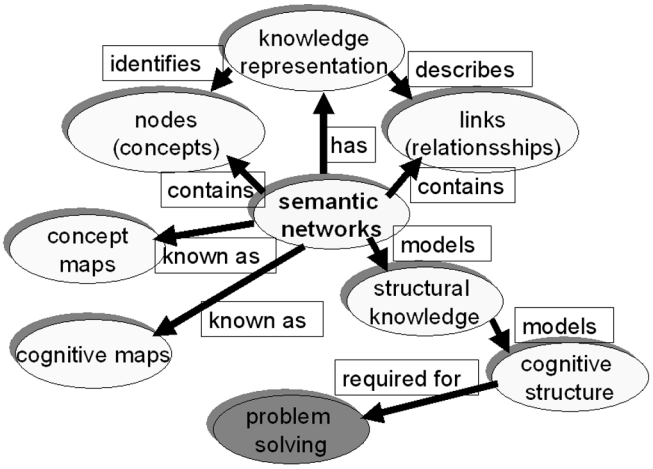
Beispielsweise wird ein Stimuluswort zunächst semantisch encodiert (verschlüsselt) und darauf durch semantische Transformationen eine assoziative Antwort abgeleitet.

Da Assoziationsgesetze für das Design von Multimedia-Systemen wichtig sind, werden diese in Band 3 im Verlauf der Gestaltgesetze besprochen.

4.2 Semantische Netzwerke

Ein semantisches Netzwerk (semantic network) stellt nach STRUBE (1996) eine Art der Wissensrepräsentation dar, in der semantische Beziehungen von Bedeutungsinhalten modelliert werden. Dabei werden Bedeutungen grundsätzlich als **kognitive Einheiten** verbunden. Diese kognitiven Einheiten werden zu semantischen **Nodes** (Knoten) zusammengefasst und sind untereinander durch Relationen, den **Links** (Kanten), netzwerkartig verbunden und diese werden mittels **Link-Labels** beschrieben

Bild 2.9 Ein semantisches Netzwerk besteht aus Nodes, Links und Link-Labels



Dabei nimmt KINTSCH (1988) in seinem Modell nur zwei Arten von Relationen an, die in ihrer Stärke jeweils variabel sind:

- positve Relationen (assoziative) und
- negative Relationen (hemmende).

Semantische Netzwerke werden auch als **Attribut-Wert-Strukturen** bezeichnet, die in Form von Listen (vgl. Programmiersprache LISP) geschrieben werden. Beispiel: E-Heizlüfter := ((is-a Elektroheizung) (is-a Wärmequelle) (has-part (Heizkörper, Schalter, Thermostat, ...)).

Derartige Strukturen können – bei diskreten Werten – direkt in Graphen übergeführt werden.

Semantische Netze stellen **gerichtete Graphen** (Bild 2.9 und Bild 2.10) dar, die aus Nodes, Links und Link Labels bestehen.

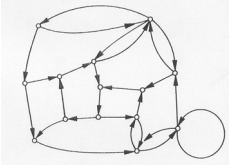


Bild 2.10 Beispiel für einen gerichteten Graphen in graphentheoretischer Darstellung

Diese Begriffe sind nach WINSTON (1993) folgendermaßen definiert:

- **Node** beschreibt ein Objekt der realen Welt.
- **Link** stellt die Beziehung zwischen zwei Nodes dar.
- **Link Labels** beschreibt die Art der Beziehung, die mit einem Link ausgedrückt wird.

Anhand semantischer Netze werden Algorithmen erklärt, die in der Wissensverarbeitung häufig angewandt werden. Dazu gehören vor allem Algorithmen zur Suche in Graphen und zur Behandlung von Spielbäumen.

4.2.1 Kategorie

In weiterer Folge wurde innerhalb der Kognitionswissenschaft immer deutlicher, dass semantische Netzwerke allein nicht ausreichend sind, um das konzeptuelle Wissen, z.B. das Wissen über Klassen von Sachverhalten, abzubilden. Nach QUILLIAN (1966) speichern Menschen Informationen in hierarchisch aufgebauten Kategorien.

Unter **Kategorie** wird allgemein ein Satz von Objekten verstanden, die ein oder mehrere Charakteristika gemeinsam haben. Ein einzelnes Wissensobjekt wird im Kategorisierungsprozess einer bestimmten Kategorie zugeordnet.

Alle Kategorienmitglieder haben mehr oder weniger viele charakteristische Merkmale gemeinsam, sie werden demnach durch so genannte Familienähnlichkeitsbeziehungen zusammengehalten.

Kategorie: Wärmequellen

Subkategorie:	unerwünschte		erwünschte	
Subsubkategorie:	elektrische	mechanische	elektrische	mechanische
Einzelobjekte:	Strom-wärme Kabel	Reibungs-wärme Bremsen	Strom-wärme E-Heizung	Feuer-bohrer
.	Verlust-wärme Glühlampe	Abwärme Kühl-schrank	Wärme-lampe	Reiben der Hände im Winter
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

Bild 2.11 Kategorien bestehen aus unterschiedlichen Hierarchien (Ebenen)

Das Kategorisieren ist ein wesentlicher Teilaspekt des Verstehens, weil es zur Informationsreduktion und damit zur Vereinfachung der überwältigenden Fülle an Information beiträgt.

Ein anschauliches Beispiel einer Kategorisierung aus dem Bereich der Psychophysik (siehe Band 1) stellt der menschliche Sehapparat dar: Der menschliche Sehapparat ist in der Lage, viele Millionen von Farbnuancen zu unterscheiden. Aber es existieren nur einige hundert Farbbezeichnungen, und der Durchschnittsmensch verwendet im täglichen Leben überhaupt nur etwa 10 bis 20 verschiedene Farbnamen (hellrot, scharlachrot, usw.).

Reduzierung von Komplexität durch Kategorisierung

Kategorisierung als Grundprinzip der Reduzierung von Komplexität ist in unserer Informationsgesellschaft besonders wichtig. Die enorme Zahl an Einzeldingen kann unter Kategorien subsumiert (untergeordnet) werden. Das geschieht dadurch, dass konkrete Objekte mit dem gespeicherten Wissen verglichen werden. Der Vergleich erfolgt mit so genannten Prototypen.

Nach ROSCH & LLOYD *(1978) wird angenommen, dass die einer Kategorie zugeordneten Einzelobjekte sich in der Art untereinander unterscheiden lassen, in deren Maß diese Einzelobjekte für die gesamte Kategorie typisch (also „prototypisch") erscheinen.*

Prototypen entstehen durch Integration von merkmalsbasierten Beschreibungen von allen Kategorienmitgliedern. Dabei beeinflussen häufiger vorkommende Merkmale bzw. Merkmalskombinationen die Repräsentation von Prototypen stärker als weniger häufige. Das führt schließlich dazu, dass während des Kategorisierens typischere Objekte schneller kategorisiert werden als weniger typische.

Ein **Prototyp** ist ein (momentan) bester Repräsentant einer Kategorie, weil er alle wesentlichen charakteristischen Merkmale für diese Kategorie besitzt.

Verschiedene Vertreter einer Kategorie unterscheiden sich mehr oder weniger in ihrer Prototypikalität. Im Fall der Wärmelehre beispielsweise besitzt eine Herdplatte sicher mehr Prototypikalität für die Kategorie Wärmequellen, der sie angehört, als beispielsweise eine Glühlampe.

Kategorien mit unscharfen, verschwommenen, unklar oder schwer definierbaren Grenzen werden nach ZADEH (1984) **Fuzzy Sets** genannt.

Als wichtiges Merkmal einer Kategorie nennt ANDERSON (1996) die Tatsache, dass **vorhersagbare Information** über einzelne Exemplare der Kategorie gespeichert ist. Wenn jemand z.B. das Wort „Wärmequellen" erwähnt,

dann hat man schon eine ungefähre Vorstellung von dieser Wärmequelle. Die bloße Auflistung der Kennzeichen der Einzelobjekte innerhalb einer Kategorie sagt aber noch nichts über die Beziehungsstruktur zwischen diesen Einzelobjekten. Konzepte der Art „Wärmequellen" sind lediglich durch eine Anordnung von Merkmalen und Einzelobjekten definiert.

Aus diesem Grund hat sich in der Kognitionswissenschaft eine noch bessere Art und Weise durchgesetzt, um konzeptuelles Wissen zu repräsentieren: das Schema, das im Folgenden vorgestellt wird.

4.2.2 Schema

Die Bezeichnung „Schema" entstammt ursprünglich aus einer Studie zum „Erinnern" von BARTLETT aus dem Jahre 1932. Schemata spielen eine wichtige Rolle bei der sozialen Wahrnehmung, beim Textverstehen, beim begrifflichen und schlußfolgernden Denken und beim Problemlösen.

Unter Schema wird nach ANDERSON (1996) eine **kognitive Struktur** verstanden, in der kategoriales Wissen einer Person über einen Sachverhalt gespeichert ist.

konzeptgesteuerte Informationsverarbeitung

Beispielsweise hat man eine gewisse Vorstellung, ein Wissen bzw. ein Schema von einem Auto. Dieses Schema enthält die funktional wichtigsten Merkmale der Kategorie Auto und die Beziehung, die zwischen diesen Merkmalen besteht. Sobald eine Person ein Wissen in Form eines Schemas über einen Sachverhalt hat, kann diese die konzeptgesteuerte Informationsverarbeitung anwenden. Hat die Person z.B. ein Objekt als Auto identifiziert und hat sie auch das gespeicherte Wissen in Form eines Schemas, dann kann die Person sofort sagen, dass das Auto in der Regel vier Räder, ein Lenkrad, Bremsen usw. haben muss und (im Betrieb) Energie verbrauchen wird.

ANDERSON (1996) nennt Leerstellen in dieser Struktur **„Slots".** In diese werden die Ausprägungen – die die einzelnen Exemplare einer Kategorie auf verschiedenen Attributen besitzen – eingesetzt.

BRANSFORD & JOHNSON führten 1973 einen Versuch durch, der sehr eindrucksvoll zeigte, wie Schemata arbeiten. Bei diesem Versuch wurden die Probanden (Versuchspersonen, Vpn) gebeten, folgenden Text durchzulesen und sich davon *so viel wie möglich* zu merken:

„Der Vorgang ist eigentlich ganz einfach. Zuerst unterteilen Sie die Dinge in mehrere Gruppen. Natürlich kann auch ein Stapel genügen – das kommt darauf an, wie viel zu tun ist. Wenn Sie wegen fehlender Möglichkeiten woanders hingehen müssen, dann ist das der nächste Schritt, ansonsten kann es losgehen. Es ist wichtig, nicht zu übertreiben. Das heißt, es ist besser, zu wenige Dinge auf einmal zu tun als zu viele. Das mag zunächst

*nicht besonders wichtig erscheinen, aber es können leicht Komplikationen entstehen. Ein Fehler kann viel Geld kosten. Am Anfang erscheint der ganze Vorgang kompliziert. Aber bald ist er einfach ein Teil des Lebens. Es ist schwer vorauszusehen, ob diese Aufgabe in der nächsten Zukunft überflüssig sein wird. Wenn der Vorgang zu Ende ist, muss man das Material wieder in verschiedenen Gruppen anordnen. Dann kann man sie auf ihre Plätze legen. Später werden sie wieder verwendet, und der ganze Kreislauf muss wiederholt werden. Es ist eben ein Teil des Lebens [*HERKNER*, 1991, S.169].“*

Das Problem bei diesem Text ist, dass sich die meisten Leser sehr wenig davon merken und kaum etwas verstehen. Aber es handelt sich nicht um einen komplizierten Vorgang aus der Physik, sondern um den bekannten alltäglichen Vorgang des ... Wäschewaschens!

Für jene Versuchspersonen von BRANSFORD & JOHNSON, die das passende Schema „Wäschewaschen“ aktiviert hatten, war der Text natürlich gut verständlich und leicht merkbar.

Die Leserinnen und Leser sollten versuchen, den Absatz jetzt nochmal zu lesen.

Schemata leiten eine konzeptgesteuerte Informationsverarbeitung ein.

In dem Moment, in dem wir erfahren, dass der zitierte Text vom „Wäschewaschen“ handelt, sind wir in der Lage, Schlussfolgerungen sogar über die gegebenen Informationen hinaus zu ziehen.

Schemata bestimmen, wie gut etwas verstanden wird. Schemarelevante Informationen werden wesentlich *besser* behalten als schemairrelevante. Sowohl schemakonsistente (d.h. mit dem augenblicklich aktivierten Schema übereinstimmende) als auch schemainkonsistente (d.h. dem augenblicklich aktivierten Schema widersprechende) Informationen werden besser behalten werden.

Bei dieser Art der Informationsverarbeitung treten aber auch Fehlermöglichkeiten auf: Schemata wecken nämlich bestimmte Erwartungen, auf deren Basis die Personen dann Schlussfolgerungen ziehen. So kann ein falsches Schema aktiviert werden oder neues Material wird „dazu erfunden“.

RUMELHART (1980) verwendet ebenfalls die Vorstellung, dass Schemata eine Art von Leerstellen enthalten, die erst durch konkrete, aber passende Informationen – aus Schlußfolgerungen – gefüllt werden müssen.

Ein letztes Beispiel von COLLINS, BROWN & LARKIN soll das verdeutlichen:

„Er legte 5 Dollar an der Kasse hin. Sie wollte ihm 2,5 Dollar geben, er weigerte sich aber, sie zu nehmen. Deshalb kaufte sie ihm, als sie hineingingen, eine große Tüte Popcorn [HERKNER, 1991, S. 170].“

Wird das falsche Schema aktiviert, dann erscheint der Text sehr widersprüchlich. Erst wenn man weiß, dass „sie“ *nicht* die Kassendame, sondern seine Freundin ist, wird der Text klar und unmissverständlich.

Nach diesen Beispielen wird sehr deutlich, wie wichtig in Lernprozessen ein systematisch aufbauendes Wissen ist, und was bei „falschen Vorstellungen“ alles schief gehen kann.

BOWER, CLARK, WINZENZ & LESGOLD (1969) wiesen beispielsweise nach, dass bei **systematischer Einordnung** von Begriffen in hierarchische Begriffsgruppen die Erinnerungsleistungen wesentlich verbessert werden.

4.3 Frames und Slots

„Frame“ = eine besondere Datenstruktur für die begriffliche Repräsentation von Objekten in Modellen künstlicher Intelligenz

Die Wissensrepräsentation mit Hilfe von Frames stellt eine **objektorientierte Wissensrepräsentation** dar und basiert auf den Arbeiten von ANDERSON. Diese Theorie zeigt die Ähnlichkeiten zwischen menschlichem Gedächtnis und wissensbasierenden Informationssystemen.

Objekte der realen Welt werden durch Frames dargestellt. Die Eigenschaften des Objekts werden in den Frames in so genannten Slots (Leerstellen) gespeichert.

Der Tatsache, dass es in der realen Welt mehrere unterschiedliche Objekte eines Objekttyps gibt, wird mit Hilfe von **generischen Frames** und deren Instanzen Rechnung getragen.

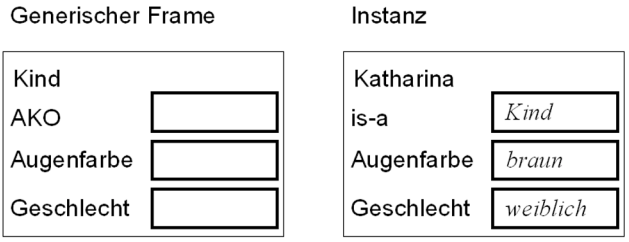
Ein generischer Frame hält für jedes Attribut, mit dem ein Objekt beschrieben wird, einen Slot bereit. In einer Instanz des generischen Frames wird nun jedem Slot – entsprechend für das Attribut für das er steht – ein Wert zugeordnet.

Bild 2.12 zeigt den generischen Frame des Objekttyps Kind und eine Instanz, die das spezielle Kind „Katharina“ beschreibt.

Die Beziehung zwischen einem generischen Frame und einer Instanz wird mit Hilfe des „is-a“-Slot hergestellt. Im Beispiel ist im „is-a“-Slot gespeichert, dass es sich bei Katharina um ein Kind handelt. In den übrigen Slots

sind jeweils Werte zu den Attributen gespeichert.

Bild 2.12 Ein generischer Frame und seine Instanz; AKO ist die Abkürzung für „a kind of“ = „eine Art von“



In einem generischen Frame wird zu einem Slot nicht nur das Attribut gespeichert, für das der Slot steht, sondern auch zusätzliche Informationen und Programme. Nach PUPPE (1991) gehören dazu:

- **Defaultwerte** (Grundwerte), die beim Lesezugriff zurückgegeben werden, wenn kein Wert explizit zugeordnet wurde. Im Beispiel mit dem Kind wäre das für den Slot Augenfarbe der Wert „braun“.
- **Bedingungen,** die der Wert erfüllen muss, z.B. männlich oder weiblich im Slot Geschlecht.
- **Prozeduren,** die beim Schreib-, Lese- oder Löschzugriff auf den Slotwert ausgeführt werden.

Dadurch wird erreicht, dass Wissen nicht nur passiv gespeichert wird. Es wird möglich bei jedem Zugriff auf Slots Schlüsse zu ziehen und andere Frames zu modifizieren. Somit ist es möglich, die Wissensbasis auf einfache Art konsistent (widerspruchsfrei) zu halten.

Die Stärke des Framekonzepts ist die **Vererbung**. Ein generischer Frame kann Slots an einen anderen generischen Frame vererben. Diese Beziehung wird mit Hilfe des AKO-Slots dargestellt. AKO steht für „a kind of“. Im erbenden Frame ist im AKO-Slot vermerkt, *von welchem* Frame er Slots erbt.

4.4 Skript

Ein Skript ist eine generische Wissensstruktur, die der Repräsentation komplexer Ereignistypen dient. Im Unterschied zu Schemata repräsentieren Skripts drehbuchartige **Handlungspläne** für das Verhalten in Alltagssituationen wie beispielsweise das Ausleihen eines Buches aus der Bibliothek, Essen in einem Restaurant usw.

Die Struktur von Skripts besteht ähnlich der von Schemata aus mehreren Komponenten:

- Skriptnamen,
- Skriptheader,
- prototypischer Aktionsabfolge und
- Slots.

Der Skriptheader spezifiziert die Bedingungen, wann das Skript aktiviert wird. Die prototypische **Aktionsabfolge** (chain of actions) legt die Sequenz der Einzelaktionen fest. Die Slots können in einer jeweiligen Episode von verschiedensten Objekten belegt werden. Die Slots werden oft durch **Voreinstellungen** (default values) und **Restriktionen** (constraints) belegt.

4.5 Handlungswissen: Experten – Novizen

Handlungswissen stellt in der Modellvorstellung von RYLE, BAUMGARTNER u.a. das praktische Wissen – das Können – dar. Im Gegensatz zum theoretischen Wissen (Faktenwissen) umfasst Handlungswissen Erkennens- und Handlungsprozesse auf der Ebene von Fertigkeiten. Es ist besonders wichtig im Alltag (beispielsweise Schwimmen, Auto fahren usw.) und bei professionellen Tätigkeiten (ärztliche Diagnostik, Flugzeug steuern usw.).

Handlungswissen stützt sich auf Anwendungswissen und dieses wiederum auf Faktenwissen.

Wie Handlungswissen mit seinem überwiegenden Anteil an implizitem Wissen tatsächlich im Gedächntis gespeichert wird, ist nicht vollständig geklärt. Einen Erklärungsansatz bietet die Theorie der **mentalen Modelle**.

Multimedia ist eine Möglichkeit, mentale Modelle besser „anzusprechen“. Mit Wort, Bild, Ton, Musik, Animation und Simulation können Sachverhalte besser verarbeitet werden.

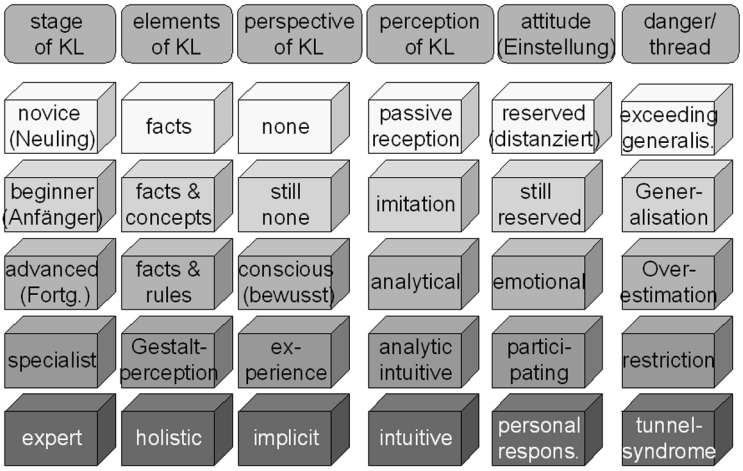
Für das Design von Multimedia-Systemen sind ausßerdem Überlegungen wichtig wie: Welche Modelle helfen den Lernenden und welche irritieren eher?

Nach PHIL JOHNSON-LAIRD muss zwischen verschiedenen Repräsentationsformen dieser Modelle unterschieden werden. Er selbst beschreibt die Modelle in Abhängigkeit von der Problemstellung. Somit wäre

- eine auschließlich **analoge,**
- eine ausschließlich **propositionale** Repräsentation (jeweils vertreten in der Bildbasis beziehungsweise Textbasis) oder
- eine **Mischform** möglich.

Menschen handeln nach (von ihnen konstruierten) mentalen Modellen. Je besser die Fähigkeit zur Modellbildung und die Modelle, desto besser die Fertigkeit in der Handlung selbst. Hier treten gravierende Unterschiede zwischen **Experten** und **Novizen** (Neulinge, Anfänger) auf. Eine von BAUMGARTNER & PAYR weitverbreitete Klassifizierung sieht folgendermaßen aus:

Bild 2.13 Handlungswissen; KL = Knowledge; verändert nach Baumgartner & Payr (94), 85



5 Problemlösen

5.1 Problemarten und Lösungsstrategien

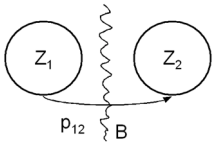


Bild 2.14 Markoff-Kette zur Darstellung eines Problemlöseprozesses

Ein Problem wird – aus der Sichtweise eines informationstheoretischen Ansatzes – durch drei Komponenten gekennzeichnet (Bild 2.14):

- ein unerwünschter Anfangszustand Z_1,
- ein erwünschter Endzustand Z_2 und
- die Barriere B, die die Transformation von Z_1 in Z_2 verhindert.

Wenn die Barriere B praktisch unerheblich für die Problemlöser ist, dann ist $p_{12} = 1$ und sie gelangen sofort vom Zustand Z_1 in den Zustand Z_2. Ist hingegen die Barriere unüberwindbar, dann ist $p_{12} = 0$ und damit das Problem unlösbar.

DÖRNER (1976) hat drei Typen von Problemen definiert:

- Interpolationsproblem mit Interpolationsbarriere,
- Syntheseproblem mit Synthesebarriere,
- dialektisches Problem mit dialektischer Barriere.

Diese Klassifikation ordnete DÖRNER den Dimensionen „Bekanntheitsgrad der Problemlösemittel“ und „Klarheit der Zielkriterien“ zu:

		Klarheit der Zielkriterien	
		hoch	*gering*
Bekannt-heitsgrad der Problem-lösemittel	*hoch*	Interpolationsbarriere	dialektische Barriere
	niedrig	Synthesebarriere	dialektische und Synthesebarriere

Bild 2.15 Bekanntheitsgrad der Mittel versus Klarheit der Zieldefinition

5.2 Interpolationsproblem

Beim Interpolationsproblem sind den Problemlösern die Mittel zur Veränderung vom Anfangszustand Z_1 zum erwünschten Zielzustand Z_2 bekannt (oder allgemein Z_n, mit *n* ganzzahlig, wenn Z_2 (noch) nicht der gewünschte Zielzustand ist). Die Barriere B besteht hier in der Existenz einer großen Anzahl von Problemlösungsmöglichkeiten, die nicht in hinreichender Zeit getestet werden können.

Das Schachspiel beispielsweise ist ein solches Interpolationsproblem. Die Anzahl der erlaubten Züge ist zwar endlich, aber die Spieler können selbst aus dieser endlichen Menge von Zügen auswählen. Das kann statistisch zufällig passieren, ohne Vorausplanung der Konsequenzen. Oder das schachspielende – und damit problemlösende – Individuum überlegt durch **konkrete Vorwärtsplanung**, in welchen Endzustand Z_2 sich der gegebene Anfangszustand Z_1 durch den Einsatz eines bestimmten Schachzuges transformieren lässt. Aus diesem Grund nennt STRUBE das Interpolationsproblem auch **Transformationsproblem.**

Durch die konkrete Vorwärtsplanung entsteht ein Planungsbaum. Die einzelnen Zustände Z_n dieses Planungsbaumes werden durch Operatoren (bestimmte Handlungen) verbunden.

Ist der Endzustand des Planungsbaumes mit dem erwünschten Endzustand Z_2 identisch, ist das Problem gelöst, und das Verfahren kann abgebrochen werden.

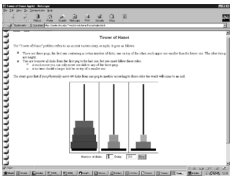


Bild 2.16 Ein Turm von Hanoi in Java [W4]

Weitere bekannte Interpolationsprobleme sind das „Kannibalen-Missionare-Problem“ und der „Turm von Hanoi“ (siehe On-Line Beispiel [W3] mit einer Gegenüberstellung von HTML und VRML. Einen „Turm von Hanoi“ mit JAVA programmiert gibt es unter [W4]).

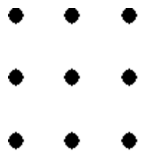


Bild 2.17 Das bekannte Neun-Punkte-Problem: Die neun Punkte sollen in einem Zug miteinander verbunden werden

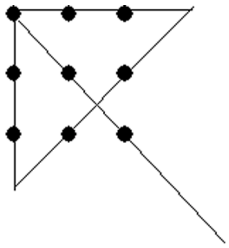


Bild 2.18 Die richtige Lösung: Ausbrechen aus dem subjektiven Problemraum

5.3 Syntheseproblem

DÖRNER (1976) spricht von einem Syntheseproblem, wenn zwar der Ausgangs- und der Zielzustand bekannt sind, aber die Mittel zur Überwindung der Barriere B unbekannt sind. Darin impliziert ist auch die Tatsache, dass zwar die richtigen Prozeduren zur Überwindung der Barriere bekannt sind, aber nicht in Betracht gezogen werden. Um die Barriere zu überwinden, müssen die Problemlöser entweder neue Mittel finden, oder sie strukturieren das Problemfeld so um, dass ihnen bekannte Prozeduren auf diese Problemsituation anwendbar sind.

Ein klassisches Beispiel für ein Syntheseproblem ist das „Neun-Punkte-Problem" (Bild 2.14): Die Schwierigkeit besteht darin, dass sich die Versuchspersonen beim Problemlösen in einem zu kleinen Suchraum bewegen. Dieser ist meistens durch die Punkte selbst begrenzt und daher kleiner als der Suchraum, in dem sich die tatsächliche Lösung befindet.

Wie an hand des „Neun-Punkte-Problems" ersichtlich, besteht die Tendenz des Menschen, neue Situationen mit gewohnten Strategien – also wie Aufgaben – lösen zu wollen. Syntheseprobleme sind aber dann und nur dann zu lösen, wenn man sich von tradierten Denkgewohnheiten und festgefahrenen Einstellungen *löst* und die Lösung im jeweils „richtigen" **Problemraum** (einem gedachten Bereich des Problems, in welchem das eigentliche Problemlösen stattfindet) sucht. Die internale Repräsentation des Problems wird durch eine Anzahl von Zuständen, Situationen, Objekten und Operatoren gekennzeichnet.

Um Syntheseprobleme erfolgreich zu lösen, ist außer Kreativität und Ideenreichtum auch Mut erforderlich, um sich auch an ungewohnte Prozeduren heranzutrauen.

DÖRNER (1976) nennt zwei Gründe für den Umstand, dass die Problemlöser oftmals einen zu kleinen **Suchraum** betrachten:

- 1. Unbekanntheit der relevanten Operatoren: Die Problemlöser kennen die Operatoren nicht, die sie zur Problemlösung benötigen würden. Mit Hilfe von Entdeckungsheurismen können sie versuchen, entsprechende Operatoren zu finden.
- 2. Fehleinstellungen bezüglich des zu lösenden Problems. Die Problemlöser haben zwar die eigentlichen Operatoren zur Lösung, wissen dies aber nicht. Mit Hilfe von Umstrukturierungsheurismen können sie versuchen, entsprechende Operatoren zu finden.

Ein **Problemsuchraum** kann in drei Teilbereiche unterteilt werden:

- Suchraum, der **in Betracht** gezogen wird,
- Suchraum, der für **irrelevant** gehalten wird, und
- Suchraum, der **noch unbekannt** ist.

Das Denken in Analogien und Modellen bezeichnet DÖRNER *(1976) als via regia der Suchraumerweiterung. Als einen der ersten Anwender dieser Art nennt er* ARCHIMEDES VON SYRAKUS *(285 – 212 v. Chr.), der das Problem der Bestimmung des Volumens einer goldenen Krone in der Badewanne fand, nachdem Wasser aus der vollgefüllten Wanne überfloss. In diesem Fall analogisierte sich* ARCHIMEDES *mit der Krone.*

Heureka!

5.4 Dialektisches Problem

Bei diesem Problemtyp herrscht nur Klarheit über den Anfangszustand Z_1. Die Operationen zur Erreichung des Endzustandes Z_2 sind genauso wenig bekannt wie der eigentliche Endzustand. Mit dem Begriff der dialektischen Barriere wird auf das dialektische Prinzip des Lösungsprozesses hingewiesen. Die Lösung wird dabei in einem iterativen (wiederholenden) Prozess sukzessive (schrittweise) präzisiert, überprüft und gegebenenfalls wieder abgeändert oder sogar verworfen. Einen großen Mangel stellt dabei die unscharfe Formulierung des Zielzustandes dar. Beispielsweise soll als Zielzustand Z_2 ein interessanter, zukunftssicherer Beruf angestrebt werden. Wie ist der Terminus „zukunftssicher" aber überhaupt definiert und wie stabil ist dieser Zielzustand über einen längeren Zeitraum?

Dialektik = Arbeitsmethode, die durch gegensätzliche Behauptungen (These und Antithese) Behauptungen infrage stellt und in der Synthese beider Positionen eine Erkenntnis zu gewinnen sucht

In der Praxis heißt das, dass sich die Problemlöser mit mehr oder weniger befriedigenden Ergebnissen zufrieden geben und die Lösungsiteration irgendwo abbrechen (Satisficing-Strategie).

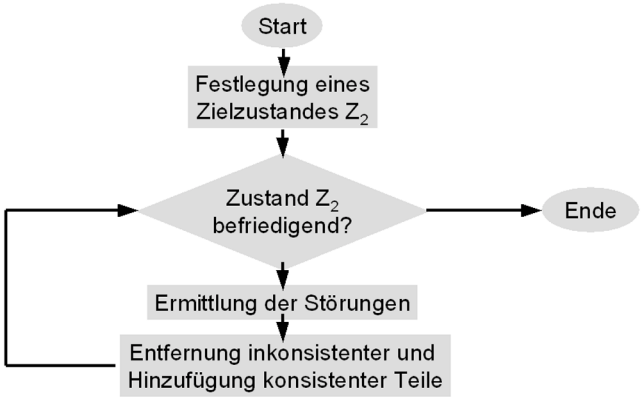


Bild 2.19 Ein möglicher Heurismus zur Lösung dialektischer Probleme

6 Wissensverarbeitung

Klassische Informationsverarbeitung, früher EDV (elektronische Datenverarbeitung)

Für den Umgang mit qualitativ komplexen und quantitativ umfangreichen Strukturen ist die klassische Informationsverarbeitung meistens nicht mehr ausreichend. Immer steigendere Anforderungen des Wissensmanagements benötigen eine systematische Vorgehensweise beim Entwurf neuer Techniken. Zahlreiche Werkzeuge stehen den Wissensingenieuren derzeit bei ihrer Arbeit zur Verfügung. Aber erst durch die Kombination der Vorteile der einzelnen Verfahren und deren gezielte Anwendung auf unterschiedliche Problemstellungen macht eine Modellierung intelligenter Prozesse möglich.

6.1 Wissensspeicher

Wissensspeicher stellen das zentrale Glied in der Verbindung zwischen dem Informationssystem und den Benutzern dar. Wissensspeicher müssen allen Benutzern, egal ob Mensch oder Maschine, das jeweils gewünschte Wissen zur Verfügung zu stellen. Dabei haben natürlich Menschen und Maschinen unterschiedliche Möglichkeiten und Anforderungen, was die Suche und die Darstellung des geforderten Wissens betrifft.

Eine Möglichkeit, Wissensspeicher zu unterscheiden, ist nach der Art ihres Zugangs. Beim Internet oder bei Datenbanken erfolgt der Zugang elektronisch, bei Bibliotheken beispielsweise durch direkte Entlehnung eines Buches usw.

Da früher Menschen die einzigen „Systeme" waren, die Wissen verarbeitet haben, sind bis heute die meisten Dokumente in einer für den Menschen lesbaren Form gespeichert. Durch das Aufkommen elektronischer Wissensverarbeitung wird es aber notwendig, die Anforderungen und Fähigkeiten von Computern bei der Wissensspeicherung zu berücksichtigen.

Erschließung von Dokumenten über Metadaten

Es genügt nicht, Dokumente nur in elektronischer Form abzuspeichern, sondern es müssen auch Informationen gespeichert werden, die eine automatisierte Verarbeitung und Erschließung der Dokumente ermöglichen. Diese Tatsache wird bis jetzt im World Wide Web zu wenig berücksichtigt.

ORA LASSILA (1998) fasst dies in folgender Aussage zusammen:

„The Web was built for human consumption, and although everything on the Web is machine-readable, it is not machine-understandable. This makes it very hard to automate anything on the Web and because of the sheer volume of information impossible to manage manually."

Zusätzlich zum eigentlichen Text gespeicherte Informationen werden Metadaten genannt.

Damit sind nicht mehr alle Symbole gleichwertig und eine Suche nach bestimmten Attributen wird möglich. Ein Beispiel für die Speicherung von Metadaten sind klassische Bibliothekskataloge. Durch sie wird es möglich, nach bestimmten Attributen im Bibliotheksbestand zu suchen. Auch beim Internet geht der Trend dazu, zusätzlich in den Dokumenten Metadaten abzuspeichern.

Mit der Hyper-Text-Markup-Language (HTML – siehe Band 1 und 3) erfolgt das mit Hilfe der **Meta-Tags**, bei Hyperwave mit Hilfe der **Attribute**.

RDF = Ressource Description Framework

Um zu allen Webressourcen Metadaten speichern zu können, hat das W3C2.13 das Resource Description Framework (RDF) ausgearbeitet.

Eine Anwendung für Metadaten stellt das Projekt der IEEE **Learning Object Metadata (LOM)** Workinggroup dar. Ziel der LOM-Arbeitsgruppe ist es, einen Standard zu schaffen, um elektronisch unterstützte Unterrichtsmaterialien und Software mit Metadaten zu beschreiben. Dabei wird Augenmerk darauf gelegt, mit einer minimalen Anzahl von Attributen die Unterrichtsmaterialien „managebar", wiederauffindbar und evaluierbar zu machen. In LOM werden nicht nur bibliographische Daten wie Autor, Titel, Sprache usw. gespeichert, sondern auch **pädagogische Attribute** wie Art der Interaktion, die Lernmethode, das Leistungsniveau, das erforderliche Vorwissen usw. Erst die ausführliche Beschreibung der Unterrichtsmaterialien mit Metadaten ermöglicht es den Lehrenden als auch den Lernenden die passenden Unterrichtsmaterialien aufzufinden, zu beurteilen und somit effektiv einzusetzen. Darüber hinaus wird es möglich, mit der Hilfe von **Software-Agenten** automatisiert und dynamisch individuelle Lerneinheiten erstellen zu lassen (siehe z.B. [W5]).

Um jedoch das gesamte in einem Dokument gespeicherte Wissen einem Computer zugänglich zu machen, muss auf spezielle Arten der künstlichen Intelligenz zurückgegriffen werden.

Diese sind für den Menschen nur mit speziellen Hilfsprogrammen lesbar.

Aufgrund der vorangegangenen Überlegungen können folgende Arten von Wissensspeichern unterschieden werden:

- Human readable – non digital (nicht digital verfügbar): alle analogen Speicher, wie Papier, Fotos, Tonbänder, Filme, Videos usw.
- Human readable – digital: digitalisierte Texte, Bilder, Audio-CDs, usw.
- Human readable – aus elementaren Symbolen: Die Dokumente sind in ihren elementaren Symbolen digital gespeichert, z.B. ASCII-Text, MIDI oder Vektorgrafik (siehe Band 1),

- Human readable – mit Metadaten: Zusätzlich zum Text sind noch weitere Informationen gespeichert, wie Autor, Erstellungsdatum usw.
- Machine understandable: Wissensspeicher, wie sie beispielsweise in der künstlichen Intelligenz verwendet werden.

Die beiden letzten Speicherarten haben in der Wissensverarbeitung die größte Bedeutung. So wird z.B. durch die Speicherung von Metadaten die effektive Suche mit **intelligenten Software Agenten** ermöglicht.

Das Internet ist der bisher größte Wissensspeicher der Menschheit

Das Internet stellt den zur Zeit am größten, am schnellsten wachsenden und umfassendsten Wissensspeicher dar.

6.2 Wissensfindung

6.2.1 Internet-Suche

Die Dokumente, die auf einzelnen Web-Servern gespeichert sind, werden ständig ergänzt, verändert, verschoben und wieder gelöscht. Es existiert *keine* „zentrale Instanz", die diese laufenden Veränderungen registriert. Gerade diese Tatsachen machen es unmöglich, manuell einen Katalog – ähnlich einem Online-Katalog bei Bibliotheken – zu erstellen. Da es manuell nicht möglich ist, das gespeicherte Wissen durch eine Suchhilfe zu erschließen, muß diese automatisiert mit der Hilfe von Computern erzeugt werden. Rechner die eine solche Suchhilfe erstellen und diese dem Internet-Benutzer zur Verfügung stellen, werden als Suchdienste bezeichnet und lassen sich nach NEUSSL (1998) in drei Arten einteilen:

- singuläre Suchdienste,
- Indexsuchdienste mit vollautomatischer Auffindung,
- Suchdienste mit Volltext- und reduzierter Volltextindexsuche.

Einige Beispiele von Suchdiensten sind in den Links im Modulanhang – und auf den begleitenden Webseiten – zu finden.

Bei **singulären Suchdiensten** werden zwei Arten unterschieden:

- indexierende und
- klassifizierende Suchdienste.

Die **indexierenden Suchmaschinen** bedienen sich der Hilfe eines so genannten **Web-Crawlers.** Das ist ein Programm, das jeder (dem System bekannten) Internet-Adresse folgt. Dann wird die Seite geladen und der darin enthaltene Text **volltextindexiert**. Dann wird nach weiteren Internet-Adressen gesucht.

Auf diese Weise erstellt die Suchmaschine einen **Index** der von ihr durchsuchten Seiten. Manche Suchdienste berücksichtigen dabei auch Metadaten und Strukurinformationen, die in den HTML-Seiten enthalten sind. Bei einer Suchanfrage wird mit Hilfe des Index eine Liste mit relevanten Seiten generiert und an die Benutzer übermittelt. Beispiele für solche Suchmaschinen sind AltaVista, Hotbot usw.

Katalogdienste bauen auf eine **Klassenhierarchie** auf. Jedes neue Dokument wird durch Klassifikation einer Klasse von Dokumenten gleichen Inhalts zugeordnet. Die Suche in diesen Systemen erfolgt durch Navigation in der Klassenhierarchie. Ein Beispiel dafür ist Yahoo.

Eine Studie des NEC-Forschungsinstituts in Priston zeigt, dass jede Suchmaschine nur einen Bruchteil des vorhandenen riesigen Informationsangebots des Internets finden kann.

Um nicht mehrere Suchdienste einzeln durchsuchen zu müssen, exsistieren so genannte **Meta-Suchmaschinen.** Diese geben die Suchbegriffe parallel an mehrere singuläre Suchdienste weiter. Aus diesen Ergebnissen werden doppelte Treffer – Dubletten – eliminiert. Der Rest wird in einheitlicher Form an die Benutzer weitergegeben. Beispiele für solche Suchdienste sind MetaCrawler, Highway61 usw.

6.2.2 Multimedia-Suche

Die klassischen Suchdienste können Benutzern beim Auffinden gesuchter Textstellen helfen. Beim Internet handelt es sich aber um ein multimediales Medium. In den Dokumenten sind neben Text auch Bilder, Sprache, Töne, Musik, Videos, 3D-Modelle usw. enthalten. Wird z.B. nach einem Bild einer britischen Flagge gesucht, wird diese mit den vorher besprochenen Suchdiensten unter dem Begriff „Union Jack“ nur dann gefunden werden, wenn der Begriff im Filenamen der Grafik explizit vorkommt (oder zumindest auf der Seite aufscheint, auf der das Bild abgebildet oder im Link-Text enthalten ist, der auf die Grafik verweist). Wünschenwert wäre also ein Suchdienst, bei der man die Suche nicht als Text eingibt, sondern skizziert, wie das gesuchte Bild aussehen soll.

Bild 2.20 WebSEEK von der Columbia University [W6]

Einen Ansatz zur Lösung dieses Problems stellt beispielsweise der Suchdienst WebSEEK von der Columbia-University (New York) dar. WebSEEK sendet einen Web-Crawler aus, der die Internetseiten nach Grafiken und Videos durchsucht. Aus deren Namen versucht es Informationen zum dargestellten Inhalt zu extrahieren. Anschließend überprüft WebSEEK, welche Farben in einem Bild wo vorkommen. Daraus lassen sich Rück-

schlüsse auf die Art des Bildes wie Grafik, Foto, Schwarzweiß- oder Graustufenbilder ziehen. Anhand dieser Informationen werden die Bilder in Klassen eingeordnet. Die Suche erfolgt nicht nach einem Suchbegriff, sondern durch Navigation durch die Klassenhierarchie. Informationen aus Videosequenzen extrahiert das Programm aus den Einzelbildern. Insgesamt hat WebSEEK mehr als 660 000 Internet-Bilder auf diese Weise indiziert.

Beispiel: Es soll nach einem Foto gesucht werden, auf dem ein weißer Elefant abgebildet ist. Zuerst wird man die Klasse „Animal", weiters die Klasse „Elephant" auswählen. WebSEEK präsentiert dann eine Auswahl an Bildern mit Elefanten. Da ein Bild eines weißen Elefanten gesucht wird, wählen wir ein Icon, auf dem eine solcher abgebildet ist. Damit wird die Suche auf Bilder eingeengt, die ein ähnliches Farbprofil haben – es werden (fast) nur mehr weiße Elefanten angezeigt. Die Benutzer können die Suche verfeinern, indem sie im Suchmuster bestimmte Farben ausschließen oder hinzufügen.

Ein leistungsfähigeres Programm zum Durchsuchen von Bild-Datenbanken stellt das Programm **Query by Image Content** (QBIC) von IBM dar. QBIC liefert bessere Suchresultate als WebSEEK, da es nicht nur die Farbverteilung beurteilt, sondern auch die Struktur nach mehreren Kriterien, wie

- **Kontrast** (etwa das Schwarzweiß von Zebrastreifen),
- **Körnigkeit** (Kieselsteine, Sand), und
- **Ausrichtung** (parallele Zaunlatten, rotationsymetrische Blütenblätter).

QBIC kann einfache Formen erkennen: Wird nach einer grünen Fläche mit einem roten Punkt gesucht, erhält man rote Blüten auf grünem Hintergrund.

All diese Programme beruhen ausschließlich auf dem Vergleich visueller Merkmale. Sie benötigen einen menschlichen Begutachter, um entscheiden zu können, ob es sich bei dem Bild um einen weißen Elefanten oder nur um ein weißes Polster (Kissen) handelt.

Ein Programm, das selbst entscheidet, ob es sich bei der Abbildung um eine nackte Person handelt oder nicht, wurde von MARGARET M. FLECK von der Universität von Iowa und DAVID A. FORSYTH von der Universität von Kalifornien in Berkeley entwickelt. Ein bearbeitetes Bild wird zunächst von einem **Skin-Filter** untersucht. Bilder, in denen *keine* hautfarbenen Elemente vorkommen, werden hier ausgeschieden. Im nächsten Schritt wird überprüft, ob die hautfarbenen Stellen der zylindrischen Form von Armen und Beinen entsprechen. Ob es sich wirklich um Extremitäten (Gliedmaßen) handelt, kontrolliert der Algorithmus durch die Suche nach weiteren solchen Formen, die in bestimmten Winkeln zu den bereits identifizierten stehen müssen. Bei Tests hat dieses System von 4854 vorgelegten Testbildern immerhin 43 Prozent richtig als nackte Personen erkannt. Im Gegentest mit 4289 Abbildungen von bekleideten Personen wurden nur 4 Prozent fälschlicherweise als nackt bewertet.

6.2.3 Informationsflut

In Bibliotheken ist nicht nur das Wissen unserer Generation gespeichert, sondern auch das Wissen *aller Generationen vor uns* – sofern dieses aufgezeichnet und nicht durch Verfall, Krieg oder Zensur vernichtet wurde. Dieses Wissen wächst – wie Kapital – mit Zins und Zinseszinsen **exponentiell.** Mehr als 90 Prozent aller Wissenschaftler, die jemals gelebt haben, leben heute.

Gerade das Internet – als modernste Methode, Wissen zu speichern und zu verbreiten – weist enorme Wachstumsraten auf. Dies ist jedoch nicht allein auf wissenschaftliche Tätigkeiten zurückzuführen, sondern beruht darauf, dass die Wirtschaft das Internet als Werbeträger und Vertriebsmöglichkeit erkannt hat.

Noch vor 300 Jahren, als z.B. GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ als Philosoph, Bibliothekar und Universalgelehrter tätig war, basierte der wissenschaftliche Gedankenaustausch auf direkten Briefwechsel unter den Wissenschaftlern. Die geometrische Zunahme der Zahl der Wissenschaftler und Gelehrten und ihr Interesse an einem öffentlichen Gedankenaustausch führte Ende des 17. Jahrhunderts zur Gründung der ersten wissenschaftlichen Zeitschriften [vgl. HAUFFE, 1997]. Die Anzahl dieser Zeitschriften ist bis heute auf über 900 000 Zeitschriftentiteln, die in der Deutschen Zeitschriftendatenbank erfaßt sind, angewachsen. Diese Zahlen sollen nur zeigen, welche Probleme durch die steigende Informationsmenge auf die Menschen zukommen. Manuell sind diese gewaltigen Datenmengen nicht mehr zu bewältigen – daher wird zunehmend an Techniken gearbeitet, die es erlauben, den Computer für diese Aufgaben heranzuziehen. Um das zu bewältigen, müssen sich Computer „intelligent“ verhalten.

6.3 Wissensrepräsentation in Computern

Grundvoraussetzung für **intelligentes Verhalten** von Computer-Systemen ist, dass sie Wissen über ihre Umwelt besitzen. Dieses „Wissen“ muss in einer für den Computer lesbaren Form gespeichert sein.

Intelligente Systeme verhalten sich so, als würden sie Wissen über ihre Umgebung besitzen und die von ihnen verursachten Veränderungen vorhersehen.

Dabei ist zu beachten, dass das Computersystem selbst Teil der Umwelt ist und dadurch auch Wissen über sich besitzen muss, um bestimmte Probleme zu lösen oder Aufgaben zu erfüllen.

Eine Wissensrepräsentation kann als Abbildung eines Ausschnitts der realen Welt bezeichnet werden.

Diese Abbildung muss nach GOTTLOB (1990) in einer Art und Weise erfolgen, dass die darin enthaltenen Informationen automatisiert verarbeiten werden können. Das Wissen kann gespeichert sein:

- implizit im Programmcode (in der Abfolge der Befehle) oder
- explizit an bestimmten Stellen des Systems.

6.3.1 Implizites Wissen

Implizites Wissen steht im Code eines Programmes, z.B. bei der Berechnung einer bestimmten mathematischen Funktion – wie der Multiplikation zweier Matrizen. Der Algorithmus wird nicht abgearbeitet, weil das System eine Methode gesucht hat, um zwei Matrizen zu multiplizieren, sondern weil der Programmierer bzw. Software-Entwickler wusste, dass in weiterer Folge das Produkt *benötigt wird*. Deshalb wurde der entsprechende Algorithmus und der Aufruf der entsprechenden Funktion implementiert (eingebaut). Das Wissen, dass dieser Algorithmus an einer bestimmten Stelle aufgerufen werden muss, ist also direkt im Programmcode enthalten [vgl. Gottlob (1990)]:

```
 /* Anweisungen vor der Matrizenmultiplikation */

 ...

for i := 1 to n do     /* äußere Schleife */

for j := 1 to m do   /* innere Schleife */

... /* Multiplikationsanweisungen */

   endfor;

 endfor;

 ...

 /* Anweisungen nach der Matrizenmultiplikation */
```

Auch ein Funktionsaufruf ändert nichts daran. Das Wissen ist in einem Unterprogramm versteckt, aber die Information, *wann* ein bestimmtes Unterprogramm aufgerufen werden soll, ist fix im Programm enthalten.

```
/* Anweisungen vor der Matrizenmultiplikation */

...

Produkt := Matrix_Mult(A, B);

...

/* Anweisungen nach der Matrizenmultiplikation */
```

6.3.2 Explizites Wissen

Wird Wissen explizit gespeichert, sind dem System Problemlösungsmöglichkeiten für bestimmte Aufgaben bekannt (z.B. verschiedene Möglichkeiten, die Inverse einer Matrix zu berechnen). Sie sind an einer bestimmten Stelle im System *explizit* vermerkt und werden je nach Bedarf entsprechend angewandt. Es wird zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen unterschieden (siehe Kapitel 3.2 und 3.4).

Eine getrennte, aktive Komponente muss dann dieses Wissen verwenden, um die Lösung zu berechnen. Der Vorteil liegt in einer besseren Verständlichkeit und Lesbarkeit dieser Methode. Der Aufwand, um eine konkrete Lösung zu berechnen, ist aber entscheidend größer. Es wird Schritt für Schritt (prozedural) angegeben, wie die Aufgabe gelöst werden muss. Der Unterschied zu implizitem Wissen ist jedoch, daß der Aufruf nicht implizit im Code vermerkt ist, sondern das System selbst erkennt, daß es zur Lösung des Problems dieses Wissen benötigt.

Die explizite prozedurale Art, Wissen zu speichern, ist nicht so leicht lesbar – aber effizienter in der Abarbeitung. Systeme, die Wissen explizit speichern, werden wissensbasierte Systeme genannt.

Konventionelle Programme, die Wissen implizit speichern, erschweren es, Wissen nachträglich zu verändern. Dazu wäre ein Eingriff in den Algorithmus notwendig. Bei wissensbasierten Systemen existiert eine klare Schnittstelle zwischen anwendungsspezifischen und allgemeinem Wissen.

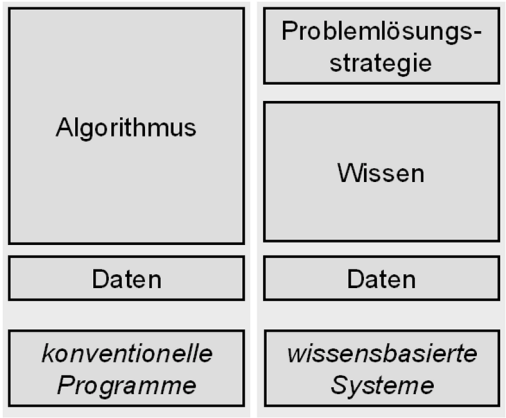
Die Komponente mit der allgemeinen Problemlösungsstrategie wird auch **Inferenzmaschine** genannt. Ein Vorteil dieses Konzepts ist, dass eine Problemlösungsstrategie für mehrere Anwendungsgebiete verwendet werden kann. Es muss nur die entsprechende Wissensbasis ausgetauscht werden.

Somit ist es Softwareherstellern möglich, „leere" wissensbasierte Systeme anzubieten, die erst durch eine anwendungsspezifische Wissensbasis an die eigenen Anforderungen angepasst werden.

Ein Beispiel für ein solches System ist die Expertensystemshell D3, die aus einer grafischen Benutzeroberfläche und einer Problemlösungskomponente besteht. Durch Verwendung unterschiedlicher Wissensbasen kann das System an verschiedenste Anwendungsgebiete angepasst werden.

Mit D3 wurden z.B. ein Expertensystem zur Pflanzenbestimmung, aber auch ein Service-System für Druckmaschinen entwickelt.

Bild 2.21 Unterschied zwischen konventionellen Programmen und wissensbasierten Systemen



6.4 Künstliche Intelligenz

Mit dem Begriff der Künstlichen Intelligenz (KI; artificial intelligence, AI) werden Computerprojekte bezeichnet, die *versuchen* das menschliche Denken nachzuahmen. Dabei geht es zumeist um den Erwerb von Wissen oder um die Fähigkeit logischer Ableitungen. Als Teildisziplin der Informatik wurde KI von dem britischen Mathematiker ALAN TURING mitbegründet, der 1950 das erste Schachprogramm entwickelte. Der so genannte TURING-Test ist bis heute Richtschnur für KI-Projekte:

> Nach TURING besitzt eine Maschine dann künstliche Intelligenz, wenn kein Unterschied erkennbar ist zwischen einer Unterhaltung, die von einer Maschine geführt wird, und einer Unterhaltung, die ein vernunftbegabter Mensch führt.

Ziel der Forschung waren zunächst Projekte für universelle Problemlösungen wie der 1957 entwickelte „General Problem Solver (GPS)“ (allgemeiner Problemlöser). Später konzentrierte sich die Disziplin auf spezielle Bereiche wie Spracherkennung und Übersetzungsprogramme, Roboter und zuletzt vor allem auf die **intelligenten Agenten**. Diese können beispielsweise zur Orientierung in der gewaltigen Informationsflut des Internet beitragen.

Mit Hilfe klassischer Programmiersprachen ist es schwer, wissensbasierte Systeme zu entwickeln. Daher wurden logische Programmiersprachen wie LISP oder PROLOG entwickelt.

LISP (List Programming) wurde in den 50er Jahren von JOHN MCCARTHY entwickelt und ist die zweitälteste noch in Verwendung stehende Programmiersprache – nur FORTRAN ist um ein Jahr älter. Zielsetzung bei der Entwicklung dieser Sprache war es, ein System zur **Symbolmanipulation** zur Verfügung zu stellen. Symbolmanipulation wurde als Schlüssel für die Entwicklung intelligenter Programme aufgefasst.

LISP ist eine **funktionale Programmiersprache** und verwendet **Listen** als Datenstruktur. Die Verarbeitung eines Programmes erfolgt durch Verarbeitung von Listen. Für LISP sind Daten und Programme äquivalent (gleichwertig) – sie werden in der gleichen Datenstruktur (in Listen) codiert.

Dieser Ansatz verhalf LISP zu einer dominierenden Stellung überall dort, wo anspruchsvolle Symbolverarbeitungsaufgaben gelöst werden mussten, für die Sprachmittel bisher bekannter Sprachen nicht ausreichten.

LISP selbst stellt jedoch direkt keine Methoden zur Verfügung, um Fakten logisch zu verknüpfen und damit auf neue Fakten zu schließen. Die für ein wissensbasiertes System notwendigen Komponenten, die Wissensbasis und die Inferenzmaschine, sind somit erst aus LISP-Konstrukten zu erstellen.

PROLOG ist eine deklarative Programmiersprache und steht für „Programming in Logic“ (siehe auch Kapitel 3.2).

In PROLOG – im Gegensatz zu prozeduralen Programmiersprachen wie FORTRAN, Pascal oder C – wird nicht mehr algorithmisch der Lösungsweg angegeben, sondern nur die Bedingungen, die die Lösung des Problems erfüllen sollen.

Funktionale Sprachen wie LISP sind ebenfalls deklarativ, während aber funktionale Programmiersprachen auf Funktionen und Funktionsapplikationen beruhen, basieren logische Programmiersprachen auf Relationen und Regelanwendung.

PROLOG ist deskriptiv: Die Lösung eines Problems wird durch Regeln und Fakten beschrieben. Prozedurale Programmiersprachen sind dagegen imperativ: Die Lösung eines Problems muss in Form von Befehlsfolgen ausprogrammiert werden.

Ein Algorithmus besteht aus einer

- logischen Komponente, die das Wissen zur Problemlösung enthält, und
- einer Steuerungskomponente, die bestimmt, wie das Wissen verwendet wird, um damit Probleme zu lösen.

Mit dieser Grundidee stellt PROLOG eine Sprache dar, in der sich wissensbasierte Systeme (siehe nächstes Kapitel) entwickeln lassen.

Fuzzy logic. Der Grundgedanke der Fuzzy logic nach ZADEH ist es, eine Theorie der unscharfen Mengen zu entwickeln. Durch die unmittelbare Verknüpfung zwischen Mengenlehre und Logik ist damit auch die Theorie der unscharfen Logik verknüpft. An dieser Stelle soll nur erwähnt werden, wie in der Fuzzy logic unsicheres Wissen gespeichert wird:

In der klassischen Mengenlehre gilt für ein Objekt, dass es *entweder* Element *oder* kein Element der Menge ist. In der Fuzzy logic besitzt eine Menge keine so scharfen Grenzen. Damit ist es möglich, dass ein Element nur „zu einem bestimmten Grad" einer Menge angehört. Der Grad der Zugehörigkeit wird durch einen Wert aus dem Intervall [0,1] angegeben. Dieses Konzept erweist sich als vorteilhaft, wenn man Zuordnungen aus dem natürlichen Sprachgebrauch darstellen will.

Ein Beispiel dafür ist die Aussage: „Die Person X ist groß". Befragt man mehrere Personen, wo für sie die Grenze liegt, ab wann eine Person als groß gilt, so wird kein eindeutiger Grenzwert erhalten. Für manche beginnt groß schon bei 1,7 m – für andere erst bei 1,85 m. In der Fuzzy logic kann diese unscharfe Grenze mit der **Mitgliedsgradfunktion** ausgedrückt werden. Die Mitgliedsgradfunktion ordnet z.B. eine Person, die 1,85 m groß ist, mit dem Grad 0,8 zur Menge der großen Personen zu.

6.5 Expertensysteme

Dabei handelt es sich um Informationssysteme, die Fachwissen und Erfahrungen spezieller Fachgebiete speichern. Sie können Schlussfolgerungen aus diesem Wissen ziehen, Problemlösungen für spezifische Problemstellungen anbieten und aufgrund der vorhandenen Wissensbasis begründen. Expertensysteme heißen deshalb auch **wissensbasierte Systeme.**

Ziel eines Expertensystems ist es, aufgrund einer vorhandenen Wissensbasis Experten in ihrer Arbeit zu unterstützen. Spezialwissen und die Fähigkeit zu Schlussfolgerungen soll – in eng begrenzten Fachgebieten – nachgebildet werden.

Beispiel einer Einsatzmöglichkeit in der Medizin, mit der Problemstellung: Diagnose und Therapie einer Infektionskrankheit. Zuerst werden die Patientendaten und Krankheitssymptome eingegeben. Das Expertensystem entwickelt ein „Krankheitsprofil" nach Art, Häufigkeit und Stärke der Symptome. Das Expertensystem fordert von sich aus weitere Daten zur spezifischen Problemlösung an. Die möglichen Krankheiten werden, unter Bezugnahme auf die Wissensbasis, nach der Wahrscheinlichkeit aufgelistet.

Expertensysteme bestehen aus folgenden Komponenten:

- **Wissenserwerbskomponente** (zur erstmaligen Erstellung sowie der fortlaufenden Aktualisierung und Erweiterung der Wissensbasis),
- **Wissensbasis** (Datenbank),
- **Dialogkomponente** (im Frage-Antwort-Muster wird dem System die Problemstellung beschrieben),
- **Algorithmen** (Prozeduren und Funktionen zur Berechnung),
- **Kontrollwissen** (z.B. zur Auswahl von Lösungsmöglichkeiten),
- **Problemlösungskomponente** (mit Hilfe der Wissensbasis wird nach Lösungsmöglichkeiten gesucht),
- **Erklärungskomponente** (die gefundene Lösung wird begründet, der Lösungsweg kommentiert, Qualität und Zuverlässigkeit bewertet).

Ein Expertensystem benötigt detaillierte Einzelkenntnisse über das Fachgebiet und die Strategien, wie dieses Wissen zur Lösung eines Problems angewendet werden kann. Um ein Expertensystem zu erstellen, muss das Wissen von einem oder mehreren Experten formalisiert und im Computer repräsentiert werden.

Die Form der Wissensrepräsentation, die sich für Expertensysteme besonders eignet, ist die der logischen Wissensrepräsentation durch Regeln. Das in den Regeln gespeicherte Expertenwissen legt nur fest, was in einer bestimmten Situation getan werden soll. In welcher Reihenfolge die Regeln zu Problemlösung verwendet werden, entscheidet die Problemlösungskomponente.

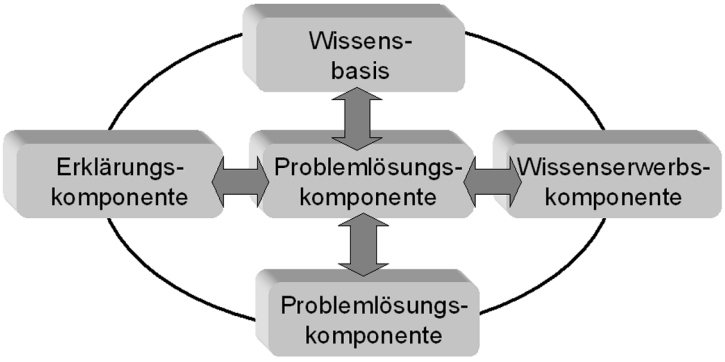


Bild 2.22 Komponenten eines Expertensystems

In der zentralen Problemlösungskomponente (Inferenzmaschine) werden die aus der Problemstellung extrahierten Fakten entsprechend der Regeln verknüpft und auf neue Fakten geschlossen. Die Reihenfolge, in der dies geschieht, wird von der Inferenzmaschine selbst festgelegt. Nach Beendigung des Schlussfolgerungsprozesses werden die neu gewonnenen Fakten von der Benutzerschnittstelle aufbereitet und als Lösung des Problems dem Anwender präsentiert. Die Benutzerschnittstelle muss zwei Arten von Interaktion mit dem Expertensystem erlauben:

- Kommunikation mit den Anwendern, die nach der Lösung eines bestimmen Problems suchen, und die
- Kommunikation mit den „Knowledge Engineers", die die Wissensbasis erstellen und warten.

Der wirtschaftliche Nutzen eines Expertensystems besteht darin, Experten bei Routinetätigkeiten zu entlasten und einfache Probleme ohne den Einsatz von Experten zu lösen.

Menschliche Experten sind – gegenüber Expertensystemen – in der Lage, **intuitiv** zu handeln, zwar ohne ihre Entscheidungen begründen zu können, aber Probleme auch unter Verwendung von unvollständigem und unsicherem Wissen zu lösen.

Bei der Erstellung eines dialoggeführten Systems muss ein Modell der Benutzergruppe berücksichtigt werden, um damit festzulegen, welche Daten sinnvollerweise vom Benutzer erhoben werden können bzw. welche Art der Erklärung für die Beratung notwendig ist.

Dialoggeführte Beratungssysteme stellen den Großteil der Expertensystemanwendungen dar. Das ist darauf zurückzuführen, dass auf der Inputseite der Mensch für die Vorabverarbeitung der Daten sorgen muss, und auf der Outputseite der Expertensystementwickler die Letztenscheidung (und damit die Verantwortung) gerne dem Menschen überlässt.

Vorteile von Expertensystemen:

- **Urteilsfähigkeit.** Die Urteilsfähigkeit eines Expertensystems ist immer gleich. Expertensysteme kennen keinen Einfluss von Stress oder emotionalen Faktoren. Ermüdung und Langeweile (wie sie bei Menschen bei Überwachungsaufgaben vorkommen) treten bei Expertensystemen nicht auf. Daher ist auch ein Einsatz unter Extrembedingungen möglich.
- **Wissenstransfer.** Bei der Erstellung eines Expertensystems ist es notwendig, dass das Wissen von Experten explizit dargestellt und dokumentiert wird. Dieses Wissen kann somit auch anderen Leuten (Laien, Auszubildende) zum Lernen zu Verfügung gestellt werden. Das kann z.B. durch die Erklärungskomponente des Systems erfolgen.

- **Verbreitung.** Expertenwissen kann mit Hilfe eines Expertensystems sehr leicht verbreitet werden. Dazu ist nur das Kopieren des Systems auf einen anderen Computer nötig.
- **Kosten.** Da nur die Entwicklung eines Expertensystems größere Kosten verursacht, ein fertiges Expertensystem einfach dupliziert werden kann, ist der Einsatz von Expertensystemen billiger als die Ausbildung eines menschlichen Experten.

Nachteile von Expertensystemen:

- **Verstehen.** Die größte Schwierigkeit eines Expertensystems liegt im Verstehen des spezifischen Problems. Menschliche Experten verfügen über umfassende sensorische und verbale Fähigkeiten, um aus einer enorm großen Anzahl von Daten die problemrelevanten Angaben herauszufiltern, vorzuinterpretieren und auf ihre Glaubwürdigkeit zu testen. Expertensysteme erfordern aber eine streng formalisierte Eingabe.
- **Korrektheit.** Eine Korrektheit kann kaum überprüft werden, bestimmt aber die Qualität der Problemlösung entscheidend mit. Daher eignen sich Expertensysteme nur zum Einsatz in Gebieten, in denen die Datenerfassung wenig fehleranfällig ist und das Expertensystem selbst keine endgültigen Entscheidungen trifft, sondern nur in einen redundanten Entscheidungsprozess eingebunden ist.
- **Wissensbereich.** Der Wissensbereich des Fachbereichs ist meistens sehr eng. In diesem schmalen Bereich kann das Wissen jedoch sehr tief strukturiert sein. Um Expertensystemen nicht die letzte Entscheidung zu überlassen und ihnen somit nicht eine zu große Verantwortung zu übertragen, werden Expertensysteme häufig dazu verwendet, Lösungen von menschlichen Experten lediglich auf ihre Richtigkeit zu überprüfen.

In der Geschichte der künstlichen Intelligenz wurde der Weg von der Suche nach allgemeinen Problemlösern hin zu stark problemspezifischen Ansätzen beschritten. Es wurde erkannt, dass für unterschiedliche Problemtypen unterschiedliche Lösungsansätze notwendig sind. Expertensysteme sind die Konsequenz aus dieser Entwicklung. Ihr Ziel ist es, Probleme auf einem stark eingeschränkten Anwendungsgebiet zu lösen. Dabei können nach PUPPE (1991) folgende praktische Problemtypen unterschieden werden:

Interpretation. Ableitung einer Situationsbeschreibung aus Sensordaten. (z.B. Geologie: aus den Daten von Probebohrungen wird die Struktur der geologischen Formation ermittelt).

Diagnostik. Ableitung von Systemfehlern aus Beobachtungen und Erkennen von Ursachen (z.B. Erstellen von medizinischen Diagnosen).

Überwachung. Vergleich von Beobachtungen mit Sollwerten (z.B. Patient-

Monitoring in der Medizin: laufende Datenermittlung und Vergleich mit Sollwerten – bei Abweichung schlägt das System Alarm).

Steuerung. Vergleich von Beobachtungen mit Sollwerten und Veranlassen von Aktionen (z.B. Patient-Monitoring: ähnlich wie bei Überwachung, das System setzt aber selbst Handlungen, um kritische Zustände zu beseitigen).

Design. Konfiguration von Produkten unter bestimmten Voraussetzungen. (z.B. Chemie: Herstellung komplexer organischer Moleküle).

Planung. Entwurf einer Folge von Aktionen zum Erreichen eines Ziels. (z.B. Technik: Zusammenstellung eines Reperaturplanes bei einem Maschinenschaden). In der Produktionsplanung lassen sich dadurch die vorhandenen Ressourcen optimal einsetzen.

Vorhersage. Ableitung von möglichen Konsequenzen gegebener Situationen. (z.B. Wirtschaft: ausgehend von der derzeitigen geopolitischen Lage wird der zukünftige Bedarf an Rohöl geschätzt).

Die Entwicklung von Expertensystemen begann 1965. Nach über 10 Jahren Forschung begannen Expertensysteme an wirtschaftlicher Bedeutung zu gewinnen:

DENTRAL wurde von LINDSAY an der Stanford University entwickelt und ist ein System zur Strukturanalyse organischer Substanzen. Die zu interpretierenden Daten werden aus dem Massenspektrogramm gewonnen.

MYCIN wurde ebenfalls an der Stanford University entwickelt und ist ein System zur Diagnose und Therapie von bakteriellen Infektionskrankheiten des Blutes. In MYCIN ist das Wissen in über 450 Regeln gespeichert. Es zeichnet sich zusätzlich durch seine klare Trennung zwischen Wissensrepräsentation und Inferenzmaschine aus. Mittlerweile wurde das medizinische Wissen aus MYCIN entfernt, und die Inferenzmaschine unter dem Namen EMYCIN als Grundlage für andere Expertensysteme verwendet. EMYCIN war somit die erste **Expertensystem-Shell.**

PROSPECTOR ist ein geologisches System zur Interpretation von Messdaten aus Probebohrungen. Ziel ist es herauszufinden, ob ein bestimmtes Mineral in einer Region vorhanden ist oder nicht.

XCON war bei Digital im Einsatz und diente zur Konfiguration von VAX-Rechneranlagen. Ausgehend von der Bestellung einer Rechneranlage stellte XCON sicher, dass alle erforderlichen Komponenten vorhanden waren und sorgte für das korrekte Zusammenspiel der Komponenten inklusive der Verkabelung. XCON baute auf mehr als 2000 Regeln auf und war das erste erfolgreiche System dieser Größenordnung.

7 Modulkurzzusammenfassung

Es existiert eine Fülle unterschiedlicher Defintionen des Begriffes „Wissen“: In der Informatik ist Wissen der *Inhalt* einer **Wissensbasis**, in der Psychologie ein dauerhafter *Inhalt* des Langzeitgedächntisses, in der Kognitionswissenschaft eine Menge von *Inhalten* die zusammen mit **Inferenztechniken** (logischen Schlussfolgerungen) ein kognitives System zum **Problemlösen** (Bewältigung intelligenter Handlungen) befähigt.

Denken ist ein interpretierender Schlussfolgerungsprozess. **Können** wird oft mit **Kompetenz** verglichen. Wissen und Information sind die entscheidenden *Produktionsfaktoren* unserer Zeit. Mit Hilfe einer **Wissenslandkarte** kann Wissen in einem Unternehmen lokalisiert werden. Wissen muss von jedem Individuum *selbst* aufgebaut werden und kann *nicht* „importiert“ werden.

Die verschiedenen Wissensformen können auf *drei* Arten reduziert werden: **deklaratives** Wissen (Faktenwissen, „knowing that“), **konzeptuelles** Wissen (Konzeptwissen, „knowing how“) und **prozedurales** Wissen (Strategiewissen, „know-how“).

In **semantischen Netzwerken** werden **kognitive Einheiten** (Bedeutungen) zu semantischen **Knoten** (nodes) zusammengefasst, durch **Kanten** (links) verbunden und durch **Link-Labels** beschrieben.

Kategorisierung ist ein wesentlicher Aspekt des Verstehens, weil es zur **Informationsreduktion** beiträgt. In einem **Schema** wird das kategoriale Wissen einer Person über einen Sachverhalt gespeichert. Im Unterschied zu Schemata repräsentieren **Skripts** drehbuchartige Handlungspläne für das Verhalten in Alltagssituationen. Multimedia ist *eine* Möglichkeit, **mentale Modelle** besser anzusprechen.

Es können *drei* Typen von Problemen unterschieden werden: **Interpolationsproblem** (z.B. Kannibalen-Missionare) mit Interpolationsbarriere, **Syntheseproblem** (z.B. Neun-Punkte-Problem) mit Synthesebarriere und **dialektisches Problem** (z.B. Verfassen eines literarischen Textes) mit dialektischer Barriere.

Dokumente, die in elektronischer Form abgespeichert werden, müssen auch **Metadaten** enthalten (Meta-Tags) um eine automatisierte Verarbeitung und Erschließung zu ermöglichen. Intelligente Systeme verhalten sich, als würden sie Wissen über ihre Umgebung besitzen. Die **Wissensrepräsentation** kann als Abbildung eines Ausschnitts der realen Welt bezeichnet werden.

8 Modulanhang

8.1 Literatur

8.1.1 Bücher

ALLMANN, WILLIAM F. (1990): *Menschliches Denken – künstliche Intelligenz (Apprentices of wonder): Von der Gehirnforschung zur nächsten Computer-Generation.* München: Droemer Knaur.

ARGYRIS, CHRIS (1997): *Wissen in Aktion: Eine Fallstudie zur lernenden Organisation.* Stuttgart: Klett-Cotta.

BALLSTAEDT, STEFFEN-PETER (1997): *Wissensvermittlung: Die Gestaltung von Lernmaterial.* Weinheim: Psychologie Verlags Union.

BAUMGARTNER, PETER (1993): *Der Hintergrund des Wissens. Vorarbeiten zu einer Kritik der programmierbaren Vernunft.* Klagenfurt: Kärntner Druck- und Verlagsgesellschaft.

BROMME, RAINER (1992): *Der Lehrer als Experte: zur Psychologie des professionellen Wissens.* Bern: Huber.

BUDER, M.; W. REHFELD; TH. SEEGER; D. STRAUCH, HRSG., (1997): *Grundlagen der praktischen Information und Dokumentation.* 4. Auflage. München et.al.: Saur.

FIEDLER, UWE; BALDEWEG, FRANK (1990): *Expertensysteme in der technischen Diagnostik.* Berlin: Verlag Technik.

GOTTLOB, GEORG; FRÜHWIRT, THOMAS; HORN, WERNER (1990): *Experten-systeme.* Wien: Springer Verlag.

HACKER, RUPERT (1992): *Bibliothekarisches Grundwissen.* 6. Auflage. München: Saur.

HEINSOHN, JOCHEN; SOCHER-AMBROSIUS, ROLF (1999): *Wissensverarbeitung: eine Einführung.* Heidelberg et.al.: Spektrum, Akademischer Verlag.

HERRMANN, JÜRGEN (1997): *Maschinelles Lernen und Wissensbasierte Systeme.* Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

HELBIG, HERMANN (1991): *Künstliche Intelligenz und automatische Wissensverarbeitung.* Berlin: Verlag Technik.

KLUWE, RAINER (1979): *Wissen und Denken: Modelle, empirische Befunde und Perspektiven für den Unterricht.* Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz: Kohlhammer.

MANDL, H.; SPADA, H., HRSG. (1988): *Wissenspsychologie.* München, Weinheim: Psychologie-Verlags-Union.

POLANYI, M. (1985): *Implizites Wissen.* Frankfurt a. M.: Suhrkamp.

PUPPE, FRANK; GAPPE, UTE; POECK, KARSTEN, BAMBERGER, STEFAN (1996): *Wissensbasierte Diagnose- und Informationssysteme.* Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

SENGE, PETER M. (1996): *Die fünfte Disziplin: Kunst und Praxis der lernenden Organisation.* 2. Auflage, Stuttgart: Klett-Cotta.

STEINDORF, GERHARD (1985): *Lernen und Wissen: Theorie des Wissens und der Wissensvermittlung.* Bad Heilbrunn (Obb.): Klinkhardt.

8.1.2 Artikel

NEUMANN, OLIVER (1999): Zwischen Wissen und Information: Herausforderung Wissensmanagement. *itFokus, Magazin für Intelligent Enterprise Computing,* 2/99, 29-30.

PUPPE, FRANK (1992): Intelligente Tutorsysteme. *Informatik-Spektrum* 15/92, 195-207.

REIMANN, PETER; MÜLLER, KATJA; STARKLOFF, PHILIP (2000): Kognitiv kompatibel: Wissensmanagement: Brückenschlag zwischen Technik und Psyche. *Magazin für Computer Technik,* 4, 274-281.

SANDER-BEUERMANN, WOLFGANG (1998): Schatzsucher: Die Internet-Suchmaschinen der Zukunft. *Magazin für Computer Techik,* 13/98, 178-184.

8.1.3 Books in English

ARGYRIS, CHRIS (1996): *On Organizational Learning.* Cambridge (MA): Blackwell.

BUCKLAND, M. (1991): *Information and Information Systems.* Westport (London): Greenwood Press.

LUGER, GEORG; STUBBLEFIELD, WILLIAM (1997): *Artificial Intelligence. Structures and Strategies for complex problem solving.* Reading (MA): Addison Wesley.

RICH, ELAINE; KNIGHT, KEVIN (1991): *Artificial Intelligence,* 2nd Ed., New York: McGraw-Hill.

ROWLEY, JENNIFER (1987): *Organising Knowledge: An Introduction to Information Retrieval.* Gower.

RUSSELL, STUART J.; NORVIG, PETER (1995): *Artificial Intelligence. A modern Approach.* Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall.

SALTON, GERARD (1968): *Automatic Information Organisation and Retrieval.* New York: McGraw-Hill.

SENGE, PETER M. (1992): *The fifth Discipline. The art and practice of the learning organization.* London et.al.: Century Business.

SMITH, PETER (1996): *An Introduction to Knowledge Engineering.* London: Thomson Publishing.

8.1.4 Articles in English

ALONSO-AMO, FERNANDO; JURISTO, NATALIA; MATÈ, LUIS; PAZOS,JUAN; MUÑOZ, PEDRO L. (1998): How much can you learn? A new learning metric. *Expert Systems, International Journal of Knowledge Engineering,* Vol. 15, 4/1998, 256-261.

GÓMEZ, A.; MORENO, A.; PAZOS, J.; SIERRA-ALONSO, A. (2000): Knowledge maps: An essential technique for conceptualisation. *Data & Knowledge Engineering,* Vol. 33, Issue 2, May 2000, 169-190.

HÖLSCHER, CHRISTOPH; STRUBE, GERHARD (2000): Web search behavior of Internet experts and newbies. *Computer Networks.* Vol. 33, Issues 1-6, June 2000, 337-346.

KINGSTON, J.; MACINTOSH, A. (2000): Knowledge management through multi-perspective modelling: representing and distributing organizational memory. *Knowledge-Based Systems,* Vol. 13, Issues 2-3, April 2000, 121-131.

KOGAN, YAKOV; MICHAELI, DAVID; SAGIV, YEHOSHUA; SHMUELI, ODED(1998): Utilizing the multiple facets of WWW contents. *Data and Knowledge Engineering,* Vol. 28, Issue 3/98, 255-275.

LIEBOWITZ, J.; WRIGHT, K. (1999): Does measuring knowledge make „cents"? *Expert Systems with Applications,* Volume 17, Issue 2, August 1999, 99-103.

8.1.5 Journals

Data and Knowledge Engineering (ISSN: 0169-023X) | Elsevier Science Ltd

Expert Systems – International Journal of Knowledge Engineering (ISSN: 0266-4720) | Blackwell Publishers

Expert Systems with Applications (ISSN: 0957-4174) | Elsevier Science Ltd

Knowledge Engineering Review (ISSN: 0269-8889) | Cambridge University Press

Knowledge Based Systems (ISSN: 0950-7051) | Elsevier

IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering (ISSN: 1041-4347) | IEEE Institute of Electrical and Electronics

itFokus, Magazin für Intelligent Enterprise Computing (ISSN: 0940-6352) | Verlag für innovative Technologien

8.2 Internet-Links:

[W1] http://www.siemens-knows.de (Siemens-Knows, Wissensmanagement, auch Beispiel für Interaktivität im Web, Siemens, D)

[W2] http://act.psy.cmu.edu/ACT/act-home.html ACT-Research Group (Organising Knowledge, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA)

[W3] http://www.dcs.napier.ac.uk/a.cumming/hanoi (Gegenüberstellung eines Turm von Hanoi in HTML und VRML, Napier University, Edinburgh, UK)

[W4] http://pirate.shu.edu/~wachsmut/Java/Hanoi/index.html (Turm von Hanoi in Java, Bert Wachsmuth, Seton Hall University, South Orange, NJ, USA)

[W5] http://mevard.www.media.mit.edu/groups/agents (Software Agents group, Media Laboratory, MIT, Cambridge, MA, USA)

[W6] http://www.ctr.columbia.edu/webseek (Multimedia-Suchdienst, Columbia University, New York, USA)

[W7] http://www.logic-programming.org/lp.html (PROLOG, Applied Logic Programming, Inc., Cambridge, MA, USA)

8.3 Prüfungsfragen

Fragen-Typ 1: Dichotome Ja/Nein-Entscheidungen:

01	Wissen ist in der Informatik der Inhalt einer Wissensbasis eines Informationssystems.	❒ Ja ❒ Nein	
02	Denken ist eine Menge von Wissensinhalten, die zusammen mit Inferenztechniken zum Problemlösen befähigen.	❒ Ja ❒ Nein	
03	Fakten sind Handlungsanweisungen, die durch eine bestimmte Abfolge von Aktionen definiert sind.	❒ Ja ❒ Nein	
04	In der Sprache der Logik besteht Wissen aus einer Menge von wahren Aussagen.	❒ Ja ❒ Nein	
05	Unter Kategorie wird allgemein ein Satz von Objekten verstanden, die ein oder mehrere Charakteristika gemeinsam haben.	❒ Ja ❒ Nein	
06	Prototypen sind kognitive Strukturen, in der kategoriales Wissen über einen Sachverhalt gespeichert ist.	❒ Ja ❒ Nein	
07	Skripts sind drehbuchartige Handlungspläne für das Verhalten in Alltagssituationen.	❒ Ja ❒ Nein	
08	Metadaten sind zusätzliche zum eigentlichen Text gespeicherte Informationen.	❒ Ja ❒ Nein	
09	In LISP muss die Lösung eines Problems in Form von Befehlsfolgen ausprogrammiert werden.	❒ Ja ❒ Nein	
10	In Expertensystemen eignet sich besonders die Form der logischen Wissensrepräsentation durch Regeln.	❒ Ja ❒ Nein	

Fragen-Typ 2: Mehrfachauswahlantworten (Multiple Choice):

01	Wissen ist ... ❒ a) ... nach informationstheoretischer Auffassung das gleiche wie Information. ❒ b) ... in der Psychologie ein dauerhafter Inhalt des Langzeitgedächtnisses. ❒ c) ... ein Prozess. ❒ d) ... immer sicher.	
02	Wissen wird ... ❒ a) ... nach dem Objektivismus als Sammlung von Fakten und Regeln gesehen. ❒ b) ... nicht vom Individuum selbst aufgebaut, sondern von außen „importiert". ❒ c) ... in einem Unternehmen mit Hilfe einer Wissenslandkarte erfasst. ❒ d) ... inhaltlich in diskursives, intuitives und systematisches Wissen eingeteilt.	
03	Prozedurales Wissen ... ❒ a) ... wird auch Konzeptwissen genannt. ❒ b) ... existiert explizit. ❒ c) ... ist z.B. die hierarchische Organisation von Lernmaterial. ❒ d) ... bezeichnet man auch als „know-how".	
04	Semantische Netzwerke ... ❒ a) ... stellen gerichtete Graphen dar. ❒ b) ... besteht aus Nodes, Links und Link-Labels. ❒ c) ... leiten konzeptgesteuerte Informationsverarbeitung ein. ❒ d) ... haben stets positive Relationen (assoziative Verbindungen).	
05	Im Internet als Wissensbasis ... ❒ a) ... existiert eine zentrale Instanz, die das Wissen registriert und verwaltet. ❒ b) ... bauen Katalogdienste auf Klassenhierarchien auf. ❒ c) ... durchsucht jede Suchmaschine einen Großteil des Informationsangebotes. ❒ d) ... können mit Skin-Filtern hautfarbene Elemente herausgefiltert werden.	
06	Wissensrepräsentation in Computern ... ❒ a) ... kann als Abbildung eines Ausschnitts der realen Welt bezeichnet werden. ❒ b) ... kann implizit im Programmcode in der Abfolge der Befehle erfolgen. ❒ c) ... kann explizit an bestimmten Stellen des Systems erfolgen. ❒ d) ... benötigt immer eine Inferenzmaschine.	
07	Expertensysteme beinhalten ... ❒ a) ... eine Wissenserwerbskomponente. ❒ b) ... ausschließlich Faktenwissen. ❒ c) ... Kontrollwissen, zur Auswahl von Lösungsmöglichkeiten. ❒ d) ... einen Assoziationsgenerator.	
08	Nachteile von Expertensystemen sind ... ❒ a) ... das Verstehen eines spezifischen Problems. ❒ b) ... die unterschiedliche Urteilsfähigkeit. ❒ c) ... die hohen Kosten. ❒ d) ... der enge Wissensbereich des jeweiligen Fachgebietes.	

8.4 Lösungen

Lösungen zu Fragen-Typ 1:

01 Ja; 02 Nein; 03 Nein; 04 Ja; 05 Ja; 06 Nein; 07 Ja; 08 Ja; 09 Nein; 10 Ja;

Lösungen zu Fragen-Typ 2:

Richtig sind: 01 a) b); 02 a) c); 03 d); 04 a) b); 05 b) d) 06 a) b) c); 07 a) c); 08 a) d)

8.5 Timeline: Wissen

um 500 v.Chr. XENOPHANES VON KOLOPHON (570 – 480 v. Chr.) bestreitet, dass es Wissen gibt: „Meinung liegt über allem".

um 340 v.Chr. ARISTOTELES fasst das Wissen seiner Zeit umfassend zusammen und beschäftigt sich mit Assoziationsgesetzen um die Wissensorganisation im menschlichen Gedächntis zu erforschen.

1473 NIKOLAUS KOPERNIKUS widerspricht gegen das Wissen über die Welt: Die Erde steht nicht im Mittelpunkt des Sonnensystems.

1690 JOHN LOCKE publiziert seinen „Essay Concerning Human Understanding".

1749 DAVID HARTLEY meint, dass sich eine Vielzahl vermuteter Assoziationsgesetze auf ein einziges reduzieren lässt: namentlich die zeitliche Kontiguität.

1754 CONDILLAC vertritt in seinem „Treatise on Sensation", dass die Sinne die einzigen Quellen für „Wissensaufnahme" sind (Noch keine klare Unterescheidung zwischen Information und Wissen).

1880 GALTON führt seine Assoziationsexperimente durch.

1890 WILLIAM JAMES beschäftigt sich intensiv mit mentaler Assoziation.

1914 KÖHLER beginnt mit seinen Untersuchungen zum Problemlösen (mit Affen), die für spätere Arbeiten grundlegend werden.

1926 Für THORNDIKE bedeuted Denken: Lernen durch Assoziation.

1956 MILLER, GALANTER und PRIBAM leiten den Beginn der maschinellen Wissensverarbeitung ein.

1956 Die Dartmouth College Konferenz gilt als die Geburtsstunde der künstlichen Intelligenz.

1958 ALLEN NEWELL, MARVIN E. SHAW und HERBERT A. SIMON veröffentlichen „Elements of a Theory of Human Problem Solving" und leiten den Beginn des Informationsverarbeitungs-Zeitalters in der Psychologie ein.

1960 JOHN MC CARTHY entwickelt die Programmiersprache LISP als System zur Symbolmanipulation – und damit als Schlüssel für die Entwicklung intelligenter Programme.

1967 G. A. GORRY entwickelt eine interaktive Wissensbasis zur computergestützten Diagnose.

1970 CLARK meint, dass freie Assoziationen das Ergebnis von symbolischen informationsverarbeitenden Prozessen sind.

1970 CARBONELL stellt sein „Expertensystem" SCHOLAR vor, das in der Folge als „Leitprojekt" gilt.

1972 TULVING unterscheidet zwischen episodischem und semantischem Gedächntnis: Das semantische Gedächntis enthält unser Wissen von der Welt (z.B. unseren Wortschatz).

1973 NEWELL & SIMON versuchen Knowledge Engineering als Zusammenfassung von Kybernetik mit Informatik und künstlicher Intelligenz zur Lösung konkreter Probleme aus Praxis zu etablieren.

1977 P. SZOLOVITS, L. B. HAWKINSON UND W. A. MARTIN präsentieren OWL, eine „knowledge representation language".

1984 WILLIAM LONG u.a. entwickeln ein „Heart Failure Program" als Expertensystem zur Unterstützung von Ärzten bei der Diagnose von Herzkrankheiten.

1985 In verschiedenen Projekten wird versucht, umfassendes „Weltwissen" zu speichern.

1988 Die erste tragbare Wortschatz-Wissensbasis mit rund 40 000 Wörtern wird im elektronischen Wörterbuch Englisch-Deutsch/Deutsch-Englisch „alpha 40" von Langenscheidt vorgestellt.

1989 Da selbst aufwendige Programme und Computer keine guten Ergebnisse in der automatischen Sprachübersetzungsarbeit leisten, wird versucht, bessere Ergebnisse durch den Einsatz von Expertensystemen zu erzielen: METAL (Machine Evaluation and Translation of Natural Language) analysiert ganze Sätze, die Entscheidung über die endgültige Übersetzung wird nach Vergleich aller Interpretationen der Satzteile getroffen.

1993 Auf der CeBit in Hannover wird die erste (elektronische) Landkarte von Deutschland vorgestellt. Die Wissensbasis umfasst 130 000 Orte.

1996 P. SENGE versucht Wissensmanagement als Organisations- und Managementlehre zur Lösung von konkreten Probleme der Praxis auszuarbeiten.

1997 FELTOVICH beschreibt Multiagenten-Ansätze, die kognitionspsychologische, wissenschaftstheoretische und technologisch-implementarische Voraussetzungen für vernetzte Modelle einer virtuellen Wirklichkeit schaffen sollen.