

Projektbericht

im Rahmen des WP
„Wettbewerb für Information Manager“
im WS 04/05

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	4
1.1	Vorgehensweise	4
1.2	Teilnehmer	5
2	Historische Entwicklung, Erwartungen und Hoffnungen	6
2.1	Antike	6
2.2	16. Jahrhundert – 19. Jahrhundert	6
2.3	1930er Jahre	7
2.4	1950er Jahre	7
2.5	1960er Jahre	8
2.6	1970er Jahre	9
2.7	1980er Jahre	10
2.8	1990er Jahre	12
2.9	2003	13
3	Funktionsweise von Expertensystemen	14
3.1	Der Aufbau eines Expertensystems	14
3.2	Die Komponenten eines Expertensystems	17
3.2.1	Wissenserwerbskomponente:	17
3.2.2	Wissensbasis:	17
3.2.3	Schlussfolgerungskomponente:	18
3.2.4	Erklärungskomponente:	18
3.2.5	Dialogkomponente:	19
3.3	Die Entwicklungsphasen eines Expertensystems	19
3.4	Funktionsweise	21
3.4.1	Steuersystem:	21
4	Arten von Expertensystemen	24
4.1	Regelbasierte Systeme	24
4.2	Faktenbasierte Systeme	25
4.3	Fallbasierte Systeme	25
4.4	Vor- & Nachteile	26
5	Input/Output	27
6	Architektur von Expertensystemen	29
6.1	Wissensverarbeitung in Expertensystemen	31
6.1.1	Wissensspeicherung	31
6.2	Verarbeitung	33
6.2.1	Wissensverarbeitung: Vorwärtsverkettung	33
6.2.2	Wissensverarbeitung: Rückwärtsverkettung	34
6.2.3	Vorwärtsverkettung versus Rückwärtsverkettung	35
6.3	Konfliktlösungsstrategien	35
7	Einsatz und Einsatzgebiete von Expertensystemen	37
7.1	Medizin	37
7.1.1	Mycin	38
7.1.2	Versuch, um die Leistungsfähigkeit von Mycin zu testen:	38
7.1.3	Weitere Expertensysteme in der Medizin:	39
7.2	Produktion	39
7.2.1	Automobilbranche	39
7.2.2	Computertechnik	40
7.2.3	Stahlbau	40
7.2.4	Chemie	40
7.3	3. Dienstleistungssektor	41
7.3.1	Banken	41

7.3.2	Versicherungen	41
7.3.3	Logistik.....	41
7.3.4	Umwelt	42
7.3.5	Ausbildung, Schulung, Training.....	42
8	Quellenangaben:	43

1 Einführung

In den 1980er Jahren war man der Überzeugung, menschliches Expertenwissen in technischen Systemen modellieren zu können. Diese Systeme würden - so die Erwartungen und Visionen - durch ihre ständige Verfeinerung und die Erweiterung ihrer Wissensbasis - menschlichen Experten schnell überlegen werden.

Unsere Aufgabe in dieser Lehrveranstaltung war es, zu recherchieren, was aus diesen Visionen geworden ist und welche Rolle "Expertensysteme" heute, also 25 Jahre später, spielen.

1.1 Vorgehensweise

Um den unterschiedlichen Quellen alle Beachtung zu schenken, fand die Recherche zu Anfang in vier Kleingruppen statt. Es handelte sich um die Gruppen Monographien, Internet, Fachzeitschriften und Online-Datenbanken. Um die Ergebnisse anschließend zusammen zu führen, beantwortete jede Gruppe für sich folgende Fragen:

- Historische Entwicklung, Erwartungen und Hoffnungen
- Wie funktioniert ein Expertensystem (technisch und inhaltlich)
- Einsatz und Einsatzgebiete von Expertensystemen
- Beispiele existierender Expertensystem-Anwendungen

Diese Struktur werden wir auch in diesem Bericht mitführen.

Zudem wurden Experten angeschrieben und befragt, auf welche wir innerhalb unserer Recherche gestoßen sind.

1.2 Teilnehmer

Teilnehmer waren Studierende des dritten Semesters des Studienganges Informations- und Wissensmanagement der FH Darmstadt.

Yvonne Dittmann

Sonja Duschek

Christian Gorzalka

Dirk Hey

Janine Kellermann

Julia Kirsch

Sandra Müller

Eva Neubert

Yvonne Nierlein

Andreas Rembow

Melanie Sauer

Desiree Schadt

Jessica Staub

Mahsa Tandorost

Ines Wannemacher

Unter der Leitung von Frau Heide Gloystein.

2 Historische Entwicklung, Erwartungen und Hoffnungen

(Zusammengestellt von Melanie Sauer, Janine Kellerman, Eva Neubert)

Mit der KI, der künstlichen Intelligenz, scheint die Erfüllung eines alten Menschheitstraums nahe zu sein: die Schöpfung eines zweiten Ich. Der Versuch der KI, menschliche Intelligenz auf Computern nachzubilden, hat seine eigene lange Geschichte. Eine kleine Reise in die Vergangenheit wird zeigen, dass manche modern anmutende Idee eigentlich ganz schön bejährt ist.

Im Folgenden soll nun die Entwicklung der Expertensysteme in den einzelnen Epochen kurz dargestellt werden.

2.1 Antike

Die griechischen Götter sind die ersten überlieferten Beispiele für den Versuch, künstliche Wesen zu erschaffen.

Künstliche Menschen existierten aber bereits damals nicht nur im Mythos, sondern als reelle Maschinen. Erstaunlicherweise wurden bereits im hellenistischen Ägypten Androiden konstruiert - Maschinen, die in ihrer Erscheinung und in ihren Bewegungen Menschen gleichen.

2.2 16. Jahrhundert – 19. Jahrhundert

Vom 16. Jahrhundert an wimmelte es in der Literatur, in Erzählungen und Legenden nur so von menschenähnlichen Automaten.

Das damals vorherrschende Menschenbild wurde von den Philosophen dieser Zeit, beeinflusst von den bahnbrechenden Erfolgen der Naturwissenschaft, umgeworfen. Wenn der Weltraum ein gigantisches Uhrwerk ist (nach Newton), warum nicht auch der Mensch?

Descartes (1596-1650) erklärte in seinem "Discours de la methode", dass der Mensch mit Ausnahme der Seele und des Verstandes eine zwar wundervolle, aber letztendlich doch mechanische Maschine sei.

Menschliches, rationales Denken wurde zu dieser Zeit als Folge der Abarbeitung methodischer Regeln begriffen.

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) griff diese Ansicht auf, denn er war auf der Suche nach einer wissenschaftlichen Allzweckssprache, einem "calculus ratiocinator", in dem alle Ideen klar und rational ausdiskutiert werden konnten. 1661 äußerte er in seinem Buch "De Arte Combinatorica" den Gedanken, Wahrheiten, ähnlich wie arithmetische Ausdrücke, berechnen zu können, das heißt, sie auf Kalkulationsvorgänge zurückzuführen.

Bis dato war man von der Erschaffung realer, intelligenter Maschinen meilenweit entfernt. Man hatte kein *Medium*, in dem sich Intelligenz realisieren lassen konnte.

Der Mathematiker Charles Babbage (1792-1871) entwarf 1882 die "Analytische Maschine", welche erstmals alle wesentlichen Funktionen heutiger Rechner beinhaltete. Somit hatte man ein erstes Medium gefunden.

Eine primitive Realisierung der Ideen von Leibniz stellte George Boole (1815-1864) mit der symbolischen Logik 1854 vor. In seinem Werk "Gesetze des Denkens" wollte Boole eine *mathematische Grundlage für das menschliche Denken* schaffen: die Algebra des menschlichen Intellekts. Die allgemeinen Prinzipien des logischen Denkens wurden als eine Folge von Ja/Nein - Antworten dargestellt und in Binärzahlen ausgedrückt. Die Ziffern 0 und 1 sollten der erste Schritt zur Herstellung intelligenter Computerprogramme sein.

2.3 1930er Jahre

Der erste praktisch verwendbare Digitalcomputer, die Z3, wurde Ende der 30er Jahre von dem deutschen Ingenieur Konrad Zuse gebaut, der den Computer als Universalmaschine und nicht als reines Additionswerkzeug verstand.

Die Trägersubstanz der KI war damit im Prinzip gefunden: falls KI sich überhaupt realisieren ließe, dann waren die entstehenden Computer das Fleisch der KI.

2.4 1950er Jahre

1956 findet in Dartmouth, New Hampshire eine Konferenz mit einer handvoll Wissenschaftler statt, welche die gemeinsame Überzeugung teilten, dass Denken auch außerhalb des menschlichen Gehirns stattfinden konnte.

1. Phase der KI (etwa 1957 – 1965):

In dieser Phase orientierte man sich an menschlichem Problemlöseverhalten und versuchte, dieses zu imitieren (Kognitive Simulation).

Ein einzelner "General Problem Solver"(GPS) mit starken Schlussfolgerungsfähigkeiten sollte alle KI Probleme lösen. Der GPS wurde dann auch tatsächlich von Newell, Shaw und Simon 1957 gebaut. Für komplexe, reale Probleme, die viel Wissen erfordern, war der GPS nicht geeignet. Er wurde 1967 aufgegeben.

Herbert Simon sagte 1957:

“It is not my aim to surprise or shock you – but the simplest way I can summarize is to say that there are now in the world machines that think, that learn and that create. Moreover, their ability to do things is going to increase rapidly until – in a visible future – the range of problems they can handle will be coextensive with the range to which the human mind has been applied.”

A more concrete prediction: That within 10 years a computer would be chess champion, and a significant mathematical theorem would be proved by machine.

Die Zeitangabe war zwar etwas zu optimistisch, aber 40 Jahre später schlug der Computer Deep Blue (IBM) Garry Kasparov und wurde Schachweltmeister.

2.5 1960er Jahre

2. Phase der KI etwa (1966 – 1975):

Man erkannte zu dieser Zeit die immense Bedeutung von Wissen für intelligentes Handeln.

Vier Hauptgebiete wurden in dieser Phase besonders bearbeitet: Bilderkennung, Robotik, Verarbeitung natürlicher Sprache und Probleme der Wissensdarstellung.

Mitte der 60er Jahre entstanden Expertensysteme als Teilgebiet der KI.

Projekte zur maschinellen Sprachübersetzung wurden in Millionenhöhe von der amerikanischen Regierung gefördert.

2.6 1970er Jahre

3. Phase der KI (etwa ab 1976):

In dieser Phase versuchte man, praktisch einsetzbare Systeme zu bauen, wobei Methoden und Probleme der Wissensrepräsentation im Vordergrund standen. Die KI-Forschungen wurden einer breiteren Öffentlichkeit bekannt. Die von Feigenbaum (Feigenbaum entwickelte ein erstes Expertensystem 1965-1968) initiierte Expertensystem-Technologie - zunächst beschränkt auf den universitären Bereich - entwickelte sich nach und nach zu einem kommerziellen Erfolg und war für viele identisch mit der ganzen KI-Forschung.

MYCIN war eines der ersten und bekanntesten Expertensysteme zur Diagnose von Infektionskrankheiten.

Ausgehend von **MYCIN** wurden eine Vielzahl weiterer Expertensysteme mit komplexer Architektur und umfangreichen Regeln entwickelt und in verschiedensten Bereichen eingesetzt.

Die ersten Ansätze zur medizinischen Entscheidungshilfe durch Computer entstehen: z. B. **Bayes - Programm** zur Differentialdiagnose des akuten Bauchschmerzes. Dieses kann zwischen 7 Diagnosen unterscheiden. Bei einjährigen klinischen Tests erreichte das Programm eine Trefferquote von über 90% richtiger Diagnosen im Gegensatz zu einer durchschnittlichen Sicherheit der Ärzte bei 60-80%.

Ein Problem dieses Systems war, dass der Computer seinen Entscheidungsweg, im Gegensatz zu den Ärzten, nicht erklären konnte.

Weitere Gründe warum medizinischen Expertensystemen der Sprung in die Praxis nicht gelungen ist:

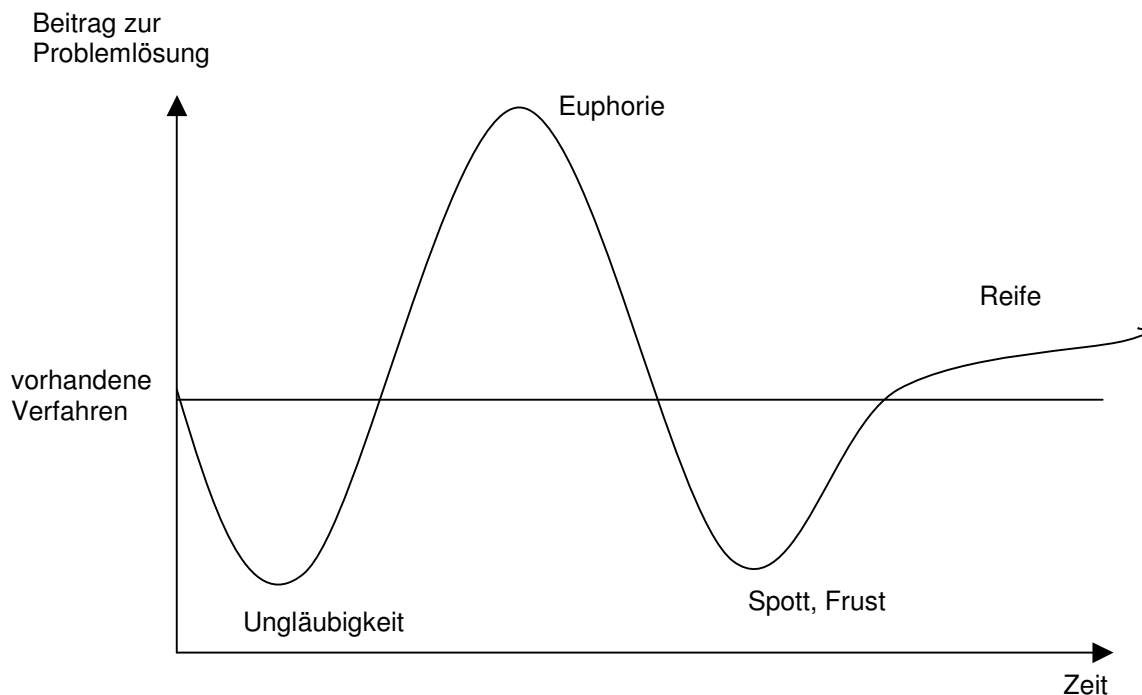
- zu aufwendiger Dialog
- zu hohe Spezialisierung der Systeme
- einseitige Wissensrepräsentation
- Akzeptanzprobleme

2.7 1980er Jahre

Die Abgrenzung von Expertensystemen war problematisch. Viele Systeme wurden als Expertensysteme bezeichnet, obwohl sie keine waren.

Anwendungsbeispiele gab es besonders in der Wirtschaft, der Produktion und in der Informatik.

Wie viele andere neue Ideen auch so breitet sich auch diese nach folgendem Muster aus:



Wenn man nach diesem Muster geht war in den folgenden Jahre eine Phase der besonders starker Frustration zu erwarten.

Man traf jedoch kaum auf Persönlichkeiten, deren Skepsis (hier: Ungläubigkeit) so weit reichte, dass sie den Gedanken der Expertensysteme völlig ablehnten.

Vielmehr erhielt man fast durchgehend die Zustimmung für die These, dass in den 90er Jahren in den Betrieben Programme benutzt werden würden, die in ihrer Komplexität menschlichen Problemlösungsverhalten ähnlicher sein werden als die der 80er Jahre.

Unternehmerische Erwartungen an Expertensysteme:

- Rationalisierung:
 - Expertenwissen soll allgegenwärtig verfügbar sein und nicht mehr verloren gehen, z.B. durch Fluktuation → Abbau der Abhängigkeit von Experten
 - ausschalten des Individuums als unkontrollierbarer Faktor
 - Expertenhandeln überprüfbar machen
 - weniger Experten mit höherem Zeitdruck
 - Reduktion des Qualifizierungsaufwandes durch anpassungsfähige Systeme
 - Entscheidungen von Experten auf eine breitere Basis stellen und die aktuelle Wissensverfügbarkeit erhöhen
 - Erhöhung der Produktivität der Expertenarbeit
 - Einsparung von Personalkosten durch Einsatz weniger qualifizierter Arbeitskräfte
 - Einsparung von Schulungskosten
 - Realisierung kürzerer Durchlaufzeiten

- Verbesserung der Qualität und Sicherheit von Produktionsprozessen, Produkten, und Entscheidungen:
 - Gewährleistung von verbesserter Sicherheit der Produktionsprozesse
 - sichere, vollständige und fehlerfreie Beurteilung von Situationen
 - verbesserte Qualitätskontrolle
 - Berücksichtigung von mehr Alternativen bei Entscheidungen
 - Berücksichtigung von mehr Komplexität
 - bessere Vorbereitung von Serviceeinsätzen
 - Sicherstellung eines gleich hohen Expertenniveaus durch Wissensverteilung
 - Individualisierung des Produktangebotes
 - Erweiterung der Beratungsmöglichkeiten eines Beraters bzw. Vertriebsmitarbeiters
 - bessere und kostengünstigere Produkte durch optimale Auswahl von Konstruktionsprinzipien und Werkstoffen

- Verbesserung von Kontrolle und Steuerung:
 - Erhöhung der Akzeptanz von technischen Systemen
 - Normierung
 - Sicherstellung der Verfügbarkeit von Wissen, z.B. in Nachtschichten oder nach Ausscheiden von Experten
 - Verbesserung der Produktionsplanung und -steuerung
 - Vereinheitlichung der Arbeits- und Entscheidungsprinzipien

Ende der 80er Jahre hatte nahezu jedes größere US-Unternehmen seine eigene Abteilung für Künstliche Intelligenz und entwickelt eigene Expertensysteme

2.8 1990er Jahre

Probabilistische Expertensysteme, welche die Gesetze der Wahrscheinlichkeitstheorie anwenden, um auch Aussagen auf Grund von unsicheren oder zweifelhaften Wissen treffen zu können, wurden eingeführt.

1990 gab es die Ansicht, dass kein damaliges System als intelligent zu betrachten sei. Der Grund dafür war nicht die technische Unfähigkeit, sondern die enorme Spannweite menschlicher Fähigkeiten, die noch nicht abgebildet werden konnte.

Probleme / Grenzen

- der Umfang des abbildbaren Wissens war noch stark eingegrenzt
- der Aufwand zur Wissensimplementierung war unnötig hoch
- die SW-Basen waren noch nicht für wirklich große Wissensmengen geeignet
- es bestand die Gefahr, dass eine nicht optimale Wissenspräsentation die Verarbeitungsgeschwindigkeit unter die Akzeptanzschwelle drückt
- das Lernen über alle Ebenen, vom Konkreten bis zum Abstrakten und die Vielfalt der menschlichen Lernmethodiken war noch nicht in Systemen zu realisieren
- mit Expertensystemen war ein enormer Zeitaufwand verbunden, da sie ständig an Veränderungen angepasst werden mussten
- Expertensysteme hatten kein Allgemeinwissen (der Umfang ist zu groß), daher konnten sie nicht wie Menschen Schlussfolgerungen ziehen

Expertensysteme konnten in vielen Gebieten die menschliche Intelligenz nicht ersetzen und dementsprechend blieb das menschliche Urteil weiterhin unverzichtbar. In der Literatur wurde häufig darauf hingewiesen, dass ein zentrales Hemmnis der Expertensystemausbreitung in den 90ern der große Mangel an qualifizierten Wissensingenieuren war.

Die meisten Schätzungen gingen davon aus, dass Anfang der 90er in der BRD 500 - 800 Systeme in der Entwicklung und Erprobung waren. Diese Zahlen deuteten darauf hin, dass es zumindest im bescheidenen Umfang in den ersten Jahren der 90er ein Anwachsen des Expertensystem-Marktes gegeben hatte. Ein weiterer Beleg dafür war, dass eine Anzahl von kleinen SW-Häusern und Beratungsfirmen, die sich auf Expertensysteme spezialisiert hatten, gegründet worden waren.

Der begrenzte Erfolg von Systemen der künstlichen Intelligenz hatte eine umso größere Wertschätzung des Reichtums und der Komplexität menschlichen Wissens zu Folge.

2.9 2003

Frühere Erfolge lösten unangemessen hohe Erwartungen an die Leistungsfähigkeit und Einsatzmöglichkeiten von Expertensystemen, sowie übertriebene Ängste in Bezug auf die potentielle Verdrängung menschlicher Fachleute bzw. Arbeitsplätze aus, welche alle bis dato nicht erfüllt wurden.

Die Frage, ob es sich bei der Expertensystem - Technologie um einen zukunftsweisenden Ansatz handelt, dessen weitverbreitete Anwendung und allgemeine Akzeptanz noch bevorsteht, oder ob es sich um eine Technologie handelt, die sich nur in bestimmten Einsatzgebieten bewähren kann, ist weiterhin offen.

3 Funktionsweise von Expertensystemen

(Zusammengestellt von Yvonne Nierlein, Ines Wannemacher, Christian Gozalka))

Definition Künstliche Intelligenz:

Unter der Abkürzung KI oder auch künstliche Intelligenz versteht man in der EDV eine Disziplin in der Informatik, bei der es um Verstehen menschlicher Intelligenz und um Computerprogramme für intelligente Problemlösung geht. Zur KI gehören vor allem Anwendungsbereiche wie das Verstehen von Sprache, optische Information, logische Deduktion, Problemdeduktion, Wissenserwerb und die Wissensverarbeitung. Diese Anwendungsbereiche gehören zu den wichtigsten Komponenten bei der Lösung von komplexer Aufgabenstellung. Aus diesem Grunde repräsentiert die systematische Verarbeitung von Wissen das zentrale Thema der künstlichen Intelligenz kurz KI. (www.bullhost.de)

3.1 Der Aufbau eines Expertensystems

Der prinzipielle Aufbau eines Expertensystems sieht vor, dass ein so genannter Wissensingenieur menschliches Expertenwissen durch verschiedene Methoden, wie z.B. durch Literaturstudium oder Gesprächen mit Fachleuten, in so genannten Experteninterviews, sammelt. Anschließend wird das zusammengetragene Wissen mit Hilfe eines Editors in die Wissensbasis, auf die im Kapitel „Komponenten eines Expertensystems“ noch mal genauer eingegangen werden soll, implementiert. Der Vorgang des Implementierens nennt man auch Wissensrepräsentation oder Wissensrepräsentierung.

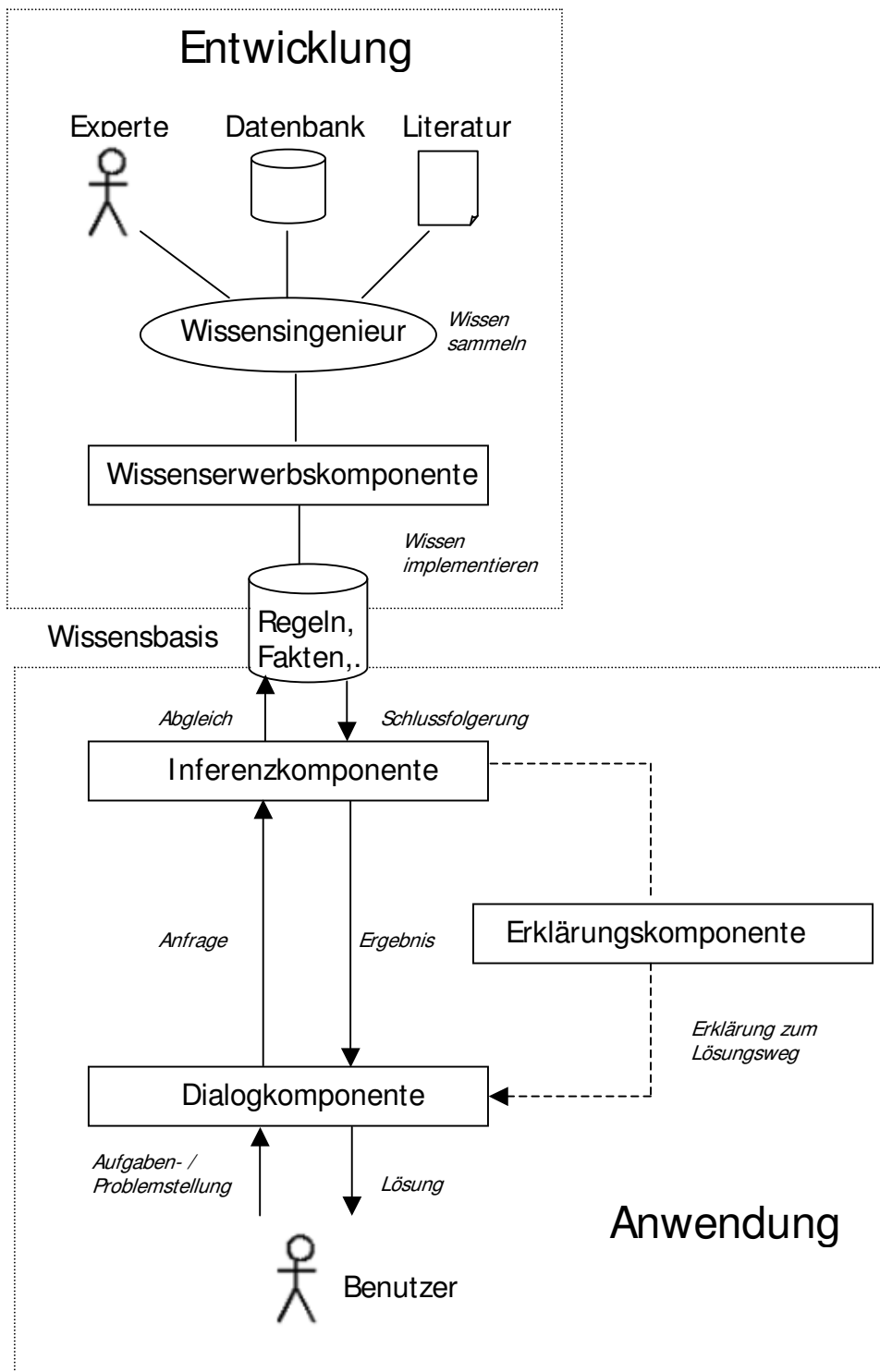
Möchte ein Nutzer auf das gespeicherte Wissen zurückgreifen, was in Fachkreisen als Wissensanwendung bezeichnet wird, muss er über die Dialogkomponente Eckdaten, wie z.B. die Symptome eines Patienten, in das System eingeben. Dieses trifft mit Hilfe der Schlussfolgerungskomponente, auch Inferenzmaschine oder Inferenzengine genannt, nach einem Abgleich mit den Daten aus der Wissensbasis, eine Entscheidung. In dem Fallbeispiel mit den Symptomen wäre dies z.B. die Diagnose.

Um dem Nutzer die vorgeschlagene Lösung näher zu bringen bzw. ihm die Gründe für die getroffene Entscheidung offen zu legen, gehört auch eine Erklärungskomponente zu einem Expertensystem.

Natürlich ist dies nur der grundlegende Aufbau eines Expertensystems. Je nach Anwendungsgebiet kann das System um die eine oder andere Komponenten auch noch erweitert werden. So besteht z.B. die Möglichkeit der Rückkopplung von den Ausgangsdaten zu den Eingangsdaten, d.h., dass die eingegebenen Daten nicht nur mit den bereits aufgenommenen in der Wissensbasis verglichen, sondern auch als neues Wissen gespeichert und somit auf weitere Schlussfolgerungsprozesse angewendet werden können. Auf diese Weise kann ein System ständig aktualisiert werden, was für das Funktionieren der Idee von ungeheurer Wichtigkeit ist, da ja auch das menschliche Wissen nicht an Punkt x, in dem Fall zum Zeitpunkt der Implementierung, stehen bleibt.

An dieser Stelle sollte man vielleicht noch ein paar Fachbegriffe verdeutlichen, denn die Ausgangsdaten, welche sich permanent ändern können, werden häufig auch temporäre oder dynamische Daten genannt und die am Anfang implementierte Wissensbasis als statische Wissensbasis bezeichnet. Wohingegen man Eingangsdaten, welche temporär sind und sich stets ändern können, auch dynamische Wissensbasis nennt.

Den hier geschilderten Aufbau soll folgende Grafik veranschaulichen:



3.2 Die Komponenten eines Expertensystems

3.2.1 Wissenserwerbskomponente:

Die Wissenserwerbskomponente dient der Wissensakquisition und ermöglicht nicht nur die Erstimplementierung von Wissen um die Wissensbasis zu füllen, sondern auch dem Expertensystem zu „lernen“, d.h. neues Wissen in die Wissensbasis einfließen zu lassen, wenn die Implementierung bereits abgeschlossen ist, bzw. altes Wissen gegebenenfalls zu verändern ohne das dies explizit programmiert werden muss.

Die Komponente soll also den Entwickler des Expertensystems bei der Eingabe, Wartung und Editierung von Wissens-elementen die Arbeit erleichtern sowie den Anwender, wenn dieser z.B. neues Wissen erwirbt, bei der Änderung des Datenbestands unterstützen.

3.2.2 Wissensbasis:

Die Wissensbasis ist eines der wesentlichen Bestandteile eines Expertensystems und bildet dessen Grundlage, da in ihr alles Wissen und sämtliche Erfahrungen der Experten in Form von Fakten (deklarativem Wissen) und Regeln (prozeduralem Wissen) sowie Skripten (Beschreibungen von Abläufen) gespeichert ist. Die Wissensbasis ist also eine Art Datenbank, welche auch vages, unsicheres und unvollständiges Wissen beinhaltet und mit Hilfe derer die Probleme gelöst werden sollen.

Als Inhalt der Wissensbasis bezeichnet man also fachspezifisches Expertenwissen, welches sich im Laufe einer Arbeitssitzung des Anwenders auch noch ändern kann, und Faktenwissen, welches das System über den Benutzer zur Verfügung gestellt bekommt und welches das eigentliche Problem bzw. den Sachverhalt beinhaltet. Außerdem gehören auch Zwischen- und Endergebnisse, welche während der Arbeitssitzung erarbeitet und dem Nutzer mitgeteilt werden, zum Inhalt der Wissensbasis.

Neben der Speicherung des eigentlichen Expertenwissens hat die Wissensbasis auch eine weitere wichtige Aufgabe. Sie muss das Wissen über die einzelnen Expertensystemfunktionen speichern, so z.B. Regeln zur Wissensverarbeitung.

Die Wissensbasis entspricht also dem Input; die Intelligenz der Maschine aber macht das Steuerungssystem aus. Hier erst wird der Input nach den vorgeschriebenen Regeln verarbeitet.

Zusammenfassend kann man also sagen, dass die Wissensbasis Wissen aus folgenden 4 Kategorien speichert:

Deklaratives Wissen (Fakten und Relationen)

Prozedurales Wissen (Verfahren und Vorschriften)

Kontrollwissen (Steuerungsverfahren zur Verarbeitung von deklarativem und prozeduralem Wissen)

Vages Wissen (Erfahrungswissen und Heuristiken)

3.2.3 Schlussfolgerungskomponente:

Die Schlussfolgerungskomponente, welche auch Schlussfolgerungsmechanismus, Inferenzmaschine oder Inferenzkomponente genannt wird, dient der Wissensauswertung. Mit Hilfe dieser Komponente sucht das Expertensystem in der Wissensbasis nach dort angelegten Verfahren bzw. Vorschriften nach Fakten und Regeln und verknüpft diese miteinander. Das Ergebnis dieses Prozesses sind Folgerungen und Ergebnisse.

Das bedeutet, dass die Schlussfolgerungskomponente das Expertensystem in die Lage versetzt selbstständig gespeichertes Wissen auf eine konkrete Anfrage (Aufgaben- bzw. Problemstellung) anzuwenden.

3.2.4 Erklärungskomponente:

Die Erklärungskomponente soll dem Nutzer den Lösungsweg des Expertensystems aufzeigen, also erklären durch welche Regeln und Fakten es zu diesem und zu keinem anderen Ergebnis gekommen ist. Auf diese Weise soll der Experte prüfen können ob das System seine Schlussfolgerungen korrekt abbildet und der Anwender die Möglichkeit erhalten die Lösung nachzuvollziehen, d.h. das System soll den Lösungsweg transparent machen.

Diese Komponente ist also nicht nur wichtig um das System auf Korrektheit zu testen, sondern auch um die Akzeptanz beim Anwender zu fördern, denn meist nimmt der nur eine Lösung an, wenn er sie nachvollziehen kann.

3.2.5 Dialogkomponente:

Die Dialogkomponente (engl. Interface) bildet die Schnittstelle zwischen dem Expertensystem und seinem Benutzer.

Ziel der Entwickler von Expertensystemen sollte es sein, die Ein- und Ausgabe der Daten möglichst einfach zu gestalten, d.h. die Eingabe in einer möglichst anwenderfreundlichen Sprache, also weitestgehend in natürlicher und die Ausgabe in graphischer oder einer anderen gut verständlichen Form zu gestalten.

Wie beim prinzipiellen Aufbau eines Expertensystems, der die Mindestvoraussetzung wiedergibt, bereits erwähnt, können die Ausprägungen der einzelnen Komponenten je nach ES unterschiedlich sein. Die hier erläuterte Unterteilung in die einzelnen Komponenten kann vor allem bei der Wartung bzw. Weiterentwicklung eines Expertensystems von Bedeutung sein, da die Änderungen komponentenorientiert bzw. modulatorientiert vorgenommen werden können und nicht das komplette System neu überarbeitet werden muss.

3.3 Die Entwicklungsphasen eines Expertensystems

1. Phase: Erstes Design der Wissensbasis

Die erste Entwicklungsphase unterteilt sich nochmals in drei Bereiche.

- a. Problemidentifikation: Hier werden Zielen, Einschränkungen, Ressourcen, der teilnehmenden Personen und ihrer Rollen definiert.
- b. Konzeption: Bei der Konzeption wird die Problemstellung detailliert beschrieben und überlegt, wie diese in Unterprobleme zerlegt werden kann.
- c. Erste Elemente der Problemlösung in Form von Hypothesen, Fakten und Lösungsstrategien werden aufgestellt.
- d. Formalisierung: Hier wird zum ersten Mal versucht das bereits entwickelte Vorgehen zu implementieren.

2. Phase: Implementation und Test eines Prototypen

Der Übergang zwischen den ersten beiden Phasen ist fließend, denn ist der erste Vorschlag zur Implementierung einmal formuliert, folgt die Umsetzung in Form einer Entwicklung des Prototyps sofort. Die Anforderungen an den Prototypen sind, dass dieser sowohl repräsentativ für das Gesamtsystem als auch einfach zu testen sein muss.

Ist der Test zur Befriedigung der Entwickler verlaufen, kann das System erweitert und mit komplexeren Fällen getestet werden.

An Hand dieser Beschreibung ist abzuleiten, dass die Vorgänge der Wissensimplementierung und der Wissensanwendung nicht strikt voneinander getrennt werden können, denn schon während des Entwicklungsprozesses wird sowohl die eine als auch die andere Komponente getestet, auch wenn die Wissensanwendung, also der Test der Wissensbasis noch nicht durch einen Endnutzer des Systems erfolgt.

3. Phase: Verfeinerung und Generalisierung der Wissensbasis

Die praktischen Ergebnisse des ersten Tests aus Phase 2 werden vom Wissensingenieur kritisch beobachtet, und die Wissensbasis entsprechend den Erkenntnissen korrigiert und/oder erweitert, d.h. die Wissensbasis wird mit detaillierterem, verfeinertem Wissen erweitert.

Dieser Vorgang wird auch später noch, wenn das System wirklich beim Nutzer in Gebrauch ist, nicht abgeschlossen sein, denn in der Regel entwickelt sich das menschliche Wissen ständig und an diese Veränderungen muss das Wissen des Expertensystems angepasst werden.

4. Phase: Implementierung der Mensch-Maschine Schnittstelle

Da der Endnutzer in der Regel nicht über das gleiche technische Wissen wie die Entwickler des Expertensystems verfügt, dieser aber natürlich mit dem System arbeiten soll, wird in dieser Phase die vorhandene, meist sehr sporadische, aber für die bisherigen Phasen ausreichende, Schnittstelle durch eine komfortable Benutzerschnittstelle ersetzt.

5. Phase: Einführung des Systems in das Unternehmen

Da in vielen Unternehmen bereits Informations-Technologien vorhanden sind, wird das Expertensystem in der letzten Phase in diese eingebunden. Dazu gehört nicht nur die reine zur Verfügungsstellung des Systems durch die Installation auf dem Arbeitsplatzrechner, sondern auch die Schulung der zukünftigen Benutzer.

Solche Schulungen dienen meist nicht nur den Benutzern um das System kennen zu lernen, sondern auch den Entwicklern um die Erfahrungen, Hinweise und Beurteilungen der Nutzer zur Verbesserung und Verfeinerung der Expertensysteme zu verwenden.

3.4 Funktionsweise

Typisch für Expertensysteme sind die Anwendung von komplizierten Wenn – Dann - Regeln einerseits und andererseits das Berechnen von Wahrscheinlichkeiten.

Dadurch dass es dynamische Regelsysteme sind, werden am Ende der Problemlösungssequenz mehrere richtige Lösungen benannt die mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten belegt sind.

(FUZZY LOGIC).

Grundsätzlich kann man Expertensysteme in zwei Hauptmodule einteilen:

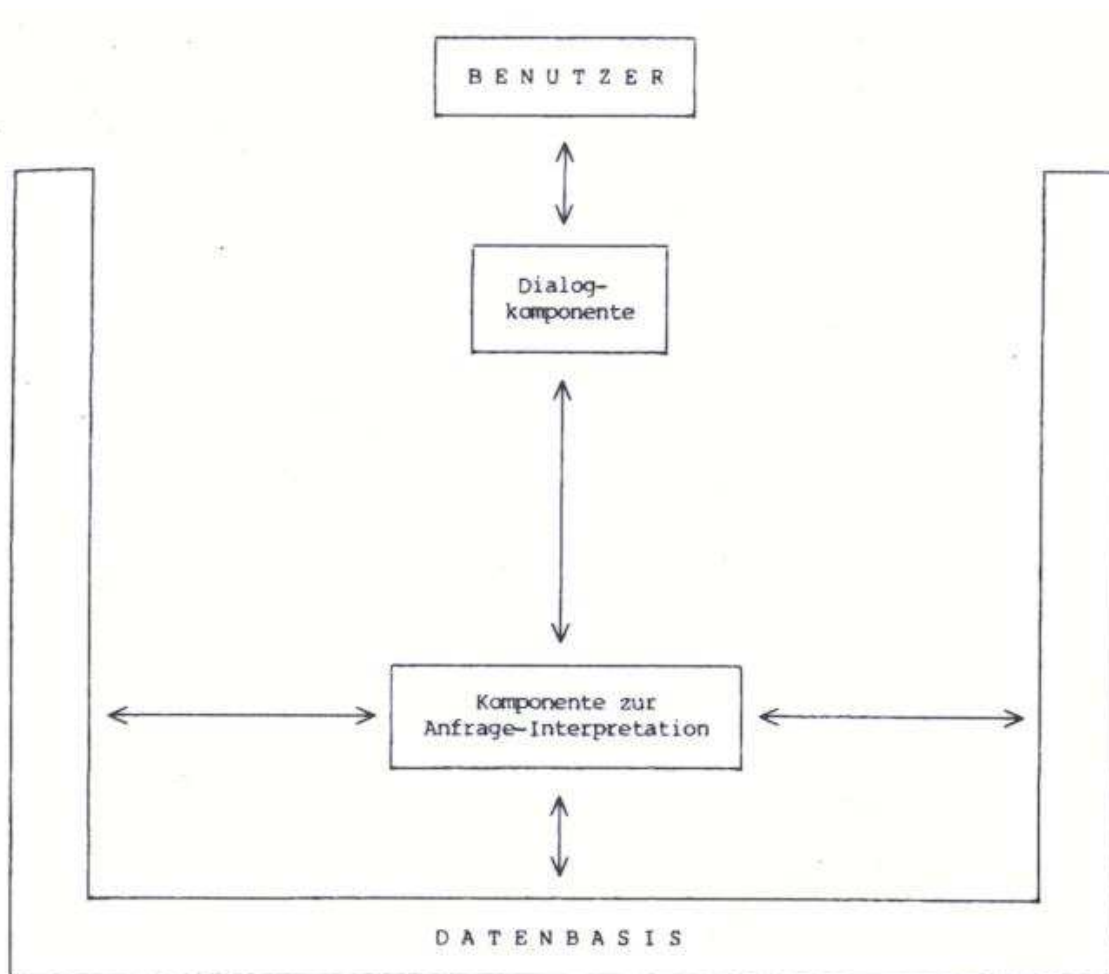
- Steuersystem
- Wissensbasis

3.4.1 Steuersystem:

Das Steuersystem kann die Lösungsstrategie eines Experten simulieren. Es ist unabhängig von der Wissensbasis. Das Steuersystem besteht im wesentlichen aus 4 Komponenten:

- Problemlösungskomponente
- Interviewerkomponente (Dialogkomponente)
- Erklärungskomponente
- Wissenserwerbskomponente (Wissensakquisitionskomponente)

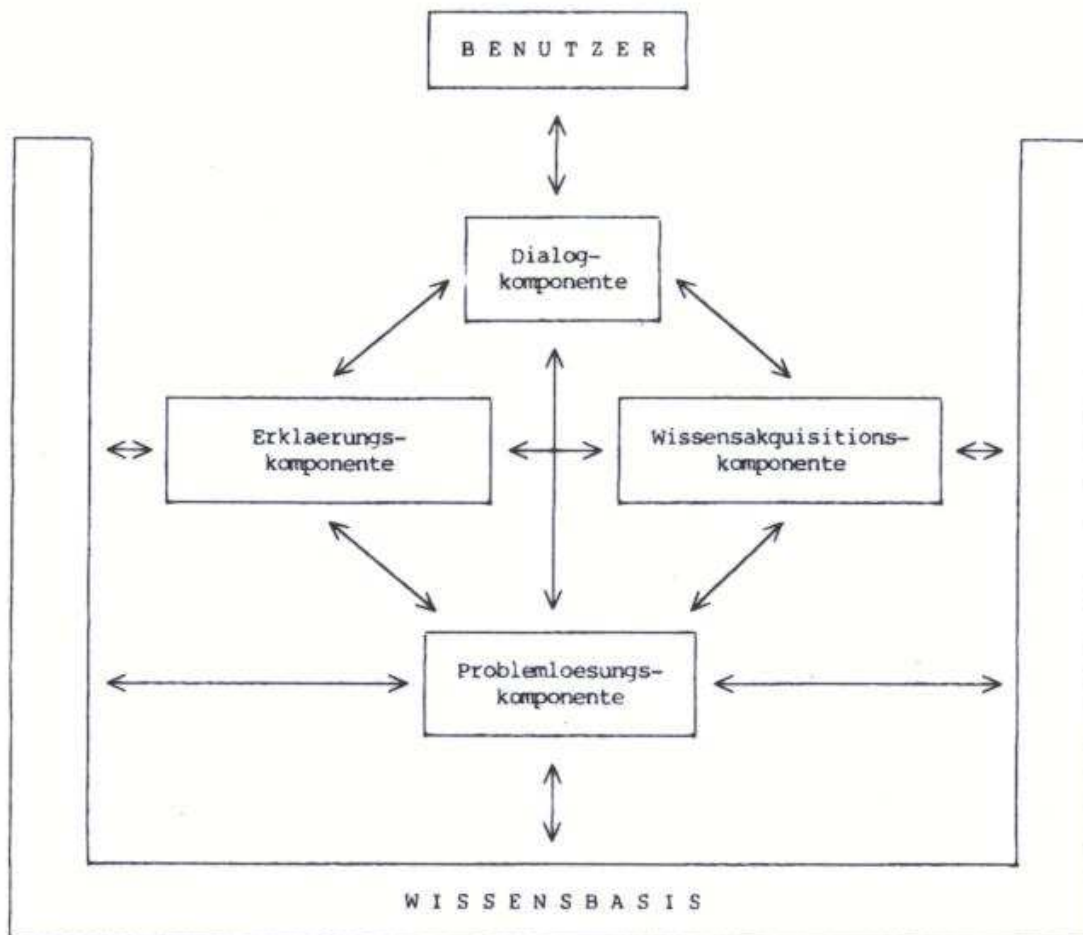
Sind nur oben genannten 4 Komponenten vorhanden und keine festgelegte Wissensbasis, so spricht man von einer "Shell". Die Anwender können das Wissensgebiet selbst festlegen indem sie die Wissensbank mit dem notwendigen Wissen füllen.



Grafik. 1: Aufbauschema eines computergestützten Informationssystems

Grafik 1 zeigt das Aufbauschema eines Computergestützten Informationssystems in der Unterscheidung zwischen Datenbasis (Datei/Datenbank), einer Komponente für

die Interpretation der Anfrage und der Dialogkomponente zur (formalsprachlichen) Interaktion zwischen Benutzer und Informationssystem.



Grafik. 2: Aufbauschema eines intelligenten Informationssystems (Expertensystem)

Grafik 2 zeigt im Vergleich zu Grafik 1, das Aufbauschema eines intelligenten Informationssystems (Expertensystem).

Die Zentrale Komponente ist die zur Wissensbasis ausgebaute Datenbasis. Diese enthält alle Wissensinhalte (Daten und Regelapparat) und bildet somit die Grundlage für das Operieren der anderen Komponenten.

Die Problemlösungskomponente bearbeitet die vom Benutzer gestellten Aufgaben und erweitert die Funktion der Anfrage-Interpretation um Schlussfolgerungsverfahren (Inferenzprozeduren). Die Erklärungskomponente speichert den Verlauf des Problemlösungsprozesses und kann damit die von der Problemlösungskomponente

erarbeiteten Lösungen nach Anforderung rekapitulieren (Dient zur Durchschaubarkeit und Nachvollziehbarkeit für den Benutzer).

Die Wissensakquisitionskomponente unterstützt die Konstruktion und Modifikation (Updating) der Wissensbasis. Die Dialogkomponente dient zur Analyse und Generierung natürlicher Sprache und führt den Dialog mit den Benutzern aus.

4 Arten von Expertensystemen

Man unterscheidet Expertensysteme in drei große Klassen:

- Heuristisch Regelbasierte Systeme, die die Schlussweise eines menschlichen Experten an Hand von Fakten und Regeln simulieren
- Fallbasierte Systeme, in denen versucht wird, ein Problem durch Adaption der Lösung eines ähnlich gespeicherten Falles zu lösen
- Modellbasierte Systeme, bei denen ausgehend von einem Modell die Lösung eines Problems hergeleitet werden soll.

4.1 Regelbasierte Systeme

Bei den Regelbasierten Systemen unterscheidet man zwischen Kleinen, Großen und den Faktenbasierten Expertensystemen. Als eine Randgruppe von Expertensystemen werden die Mittelgroßen Expertensysteme bezeichnet. Sie werden sehr wenig hergestellt und somit auch sehr wenig verwendet.

Kleine Systeme:

Kleine Systeme sind die am häufigsten eingesetzten Expertensysteme. Sie laufen auf PCs und das Fachwissen wird von Fachexperten meist selbst eingegeben. Zudem sind sie für nur einen Arbeitsstil gedacht und somit kaum anpassbar an andere Programme. Der Wissensumfang der kleinen Expertensysteme ist sehr gering. Ihr Sachgebiet ist in der Regel eindeutig strukturiert und festgelegt.

Unterschiede zwischen Großen und Kleinen Expertensystemen:

- Größe und Leistungsfähigkeit
- Regeln (kurz und lang gehaltene Regeln)
- Große Expertensysteme bis zu 5000 Regeln
- Kleine Expertensysteme bis zu 500 Regeln

Kleine Expertensysteme werden meist von Experten oder Entwickler selbst entwickelt und bieten meist ein enges Leistungsangebot.

Große Expertensysteme können nicht mit konventionellen Methoden entwickelt werden. Es wird in der Regel in einem Team erstellt und bietet, anhand mehr Regeln, ein größeres Leistungsangebot.

4.2 Faktenbasierte Systeme

Bei den Faktenbasierten Expertensystemen besteht die Wissensbasis aus einer Sammlung von Fakten. Die Fakten beschreiben bestimmte Sachverhalte, in der Regel Erfahrungen aus der Vergangenheit.

Häufig werden Fakten durch OAV Tripeln dargestellt: Object Attribute Value

Es wird deutlich, dass mit Fakten kein umfangreiches Expertenwissen implementiert werden kann. Aus diesem Grund werden die Fakten häufig erweitert, indem eine Beziehung zwischen jeweils zwei OAV-Tripeln aufgebaut wird, d.h. die beiden OAV-Tripel sollten stets paarweise auftreten.

Der Schlussfolgerungsmechanismus bei Faktenbasierten Expertensystemen vergleicht im wesentlichen den Eingangsdatensatz mit den in der Wissensbasis gespeicherten Fakten.

4.3 Fallbasierte Systeme

Zeichneten sich etwa medizinische Expertensysteme bisher durch eine große Fülle sehr spezieller Wenn-dann-Regeln aus, die aus ihrem Entstehungszusammenhang abstrahiert wurden, so sieht ein fallbasiertes System in diesem Bereich ganz anders aus:

Ein Fall enthält nur Informationen über einen ganz bestimmten Patienten, mit persönlichen Daten, Krankheitssymptomen, Therapien und ihrer Wirkung. Das System hat die Aufgabe, große Mengen solcher Fälle bereitzuhalten und bei Eingabe von neuen Patientendaten und -symptomen einen Therapievorschlag aufgrund seiner Kenntnis von ähnlichen Krankheitsfällen zu machen, um die ärztliche Arbeit zu unterstützen.

Die Leistungsfähigkeit eines solchen Systems steht und fällt natürlich mit der Qualität des Gedächtnisses, das heißt mit der Anzahl der gespeicherten Fälle und ihrer Indizierung aufgrund eines Ähnlichkeitsmaßes.

Angesichts einer neuen Aufgabe muss ein fallbasiertes Expertensystem zunächst eine ähnliche Situation aus dem Fallspeicher finden. Was `ähnlich´ heißt, hängt vom Bereich ab und muss vorher festgelegt werden. Dabei kann es sich um geringe Unterschiede bei numerischen oder symbolischen Werten handeln, die die Situation beschreiben.

Oder es können aufwendigere Verfahren erforderlich sein, die zusätzliches Bereichswissen zur Identifizierung ähnlicher Situationen bereitstellen. Hier wie auch an anderen Stellen bietet es sich an, regelbasierte Mechanismen zur Unterstützung bereitzustellen.

Ist nun ein ähnlicher Fall gefunden, so ist manchmal auch schon das neue Problem gelöst.

Oft ist es allerdings notwendig, die frühere Lösung zu modifizieren und an die aktuelle Situation anzupassen. Schließlich wird der aktuelle Fall mitsamt seiner Lösung indiziert und in den Fallspeicher integriert und steht so als Ausgangsbasis für künftige Problemstellungen zur Verfügung. Damit sind die grundlegenden Schritte genannt, die ein System durchführen muss, um die Bezeichnung `fallbasiert´ zu verdienen.

4.4 Vor- & Nachteile

Vorteile:

- Wissen produktiver nutzen
- Experten nicht von eigentlichen Aufgaben abhalten
- orts-, zeit- und personenunabhängig
- Systemzugang ist natürlichsprachig
- Systemausgabe besteht aus Diagnosen, Erklärungen und Handlungsempfehlungen
- bildet automatische Problemlösungen
- Expertensysteme sind gegen Vergessen gefeit
- ein ständig wachsender Speicher sorgt ständige Verbesserungen des Systems
- flexiblere Nutzung und Interpretation von Informationen gegenüber herkömmlichen Datenbanksystemen

Nachteile:

- ES sollten auf Grund von Sprachproblemen nicht nur Amerikanern und deren englischen Fachbegriffen vorbehalten sein (Savory)
- Adaptionfähigkeit zwischen anderen Programmen ist sehr schwierig und aufwändig
- Lernfähigkeit ist eingeschränkt gegenüber einem Menschen
- Experten handeln intuitiv, ihr Verhalten und ihre Entscheidungen lassen sich nicht mit Regeln erklären, Expertensysteme haben diese Funktion nicht

→ Fazit: Expertensysteme sind grundsätzlich nicht in der Lage, menschlichen Experten das Wasser zu reichen.

5 Input/Output

1. Der **Input** ist die **individuelle Wissensbasis** bezüglich des betreffenden Fachgebietes, die kompatibel zu der Wissensbasis des IS ist, so kann bei der Bearbeitung der Suchfrage ein Abgleich der beiden Wissensbasen durchgeführt werden. Dieses Vorgehen besitzt große Vorteile, da z.B. ermittelt werden kann, was bezüglich der Suchfrage dem Nutzer schon bekannt ist, bzw. das IS kann den Nutzer auf Inkonsistenzen der beiden Wissensbasen aufmerksam machen.

2. Der **Input** in ein IS bestimmt seinen **Output** → **Implizites Wissen**

Bei IRS wird der **Output** ausschließlich durch Suchoperationen (Retrieval-Strategien) festgelegt.

Bei WbS kommen neben **Suchoperationen auch Inferenzmechanismen** zur Anwendung, bei denen **neue Wissensobjekte** aus vorhandenem Wissen erzeugt werden.

3. Die Ergebnisse, die ein IS aufgrund einer Suchfrage bzw. einer Problemstellung liefert, müssen durch den Benutzer auf ihre Richtigkeit und Vollständigkeit überprüft werden → **Nachprüfbarkeit der Ergebnisse**

4. Man kann den Wissensbegriff in eine Vielzahl von Arten zerlegen (sicheres, unsicheres, heuristisches, vages, default, ... Wissen). → **Darstellungsformen und Reorganisation**

Moderne wissensbasierte Systeme versuchen **Repräsentationsstrukturen und Verarbeitungsmechanismen** für eine möglichst große

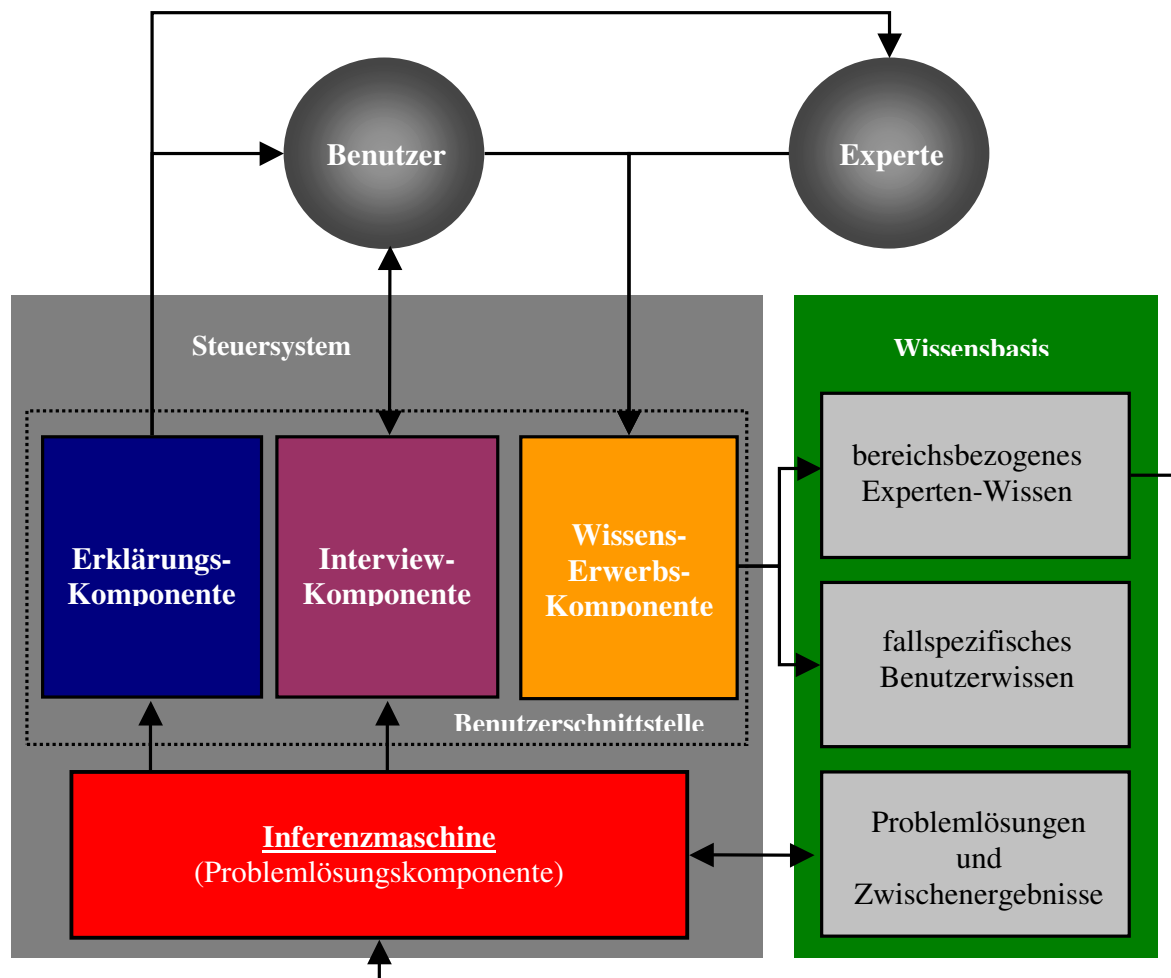
Anzahl dieser Wissensarten bereitzustellen. Hierbei kann das gleiche Wissen durch verschiedene Formalismen mit je eigenen Inferenzmechanismen repräsentiert werden.

Eine maximale Flexibilität wird erreicht, wenn **Konvertierungsmöglichkeiten** zwischen den einzelnen Repräsentationsstrukturen bestehen, da auf diese Weise die Vielzahl der Verarbeitungsmechanismen für das gesamte Wissen verwendet werden kann.

(Günter Bachelier)

6 Architektur von Expertensystemen

(Zusammengestellt von Desiree Schad, Dirk Hey, Andreas Rembow)



Allgemeine Architektur eines Expertensystems

Die funktionale Trennung zwischen dem Expertenwissen und den Problemlösungsstrategien spiegelt sich in den beiden Hauptmodulen **Wissensbasis** und **Steuersystem** wieder. Das Steuersystem enthält das Programm, das die Benutzerschnittstelle und die Problemlösungsstrategien, des auch als Problemlösungskomponente bekannten Inferenzmechanismus, realisiert.

Diese **Inferenzmaschine** (Schlussfolgerungs-Mechanismus) ist das Kernstück eines Expertensystems, das das anhand der in der Wissensdatenbank gespeicherten Implikationen Schlüsse aus den vom Nutzer dargebotenen Fakten zieht. Sie dient also der Wissensauswertung, sucht und verknüpft Fakten und Regeln nach einer

vorgegebenen Strategie und produziert so Folgerungen und Ergebnisse. Hauptsächlich werden die Vorwärtsverkettung und Rückwärtsverkettung als Auswertungsstrategien in Expertensystemen eingesetzt

Die **Wissensbasis** bildet die Grundlage eines Expertensystems. In dieser Datenbank sind die Kenntnisse der Experten, meist in Form von Fakten (deklarativem Wissen) und Regeln (prozeduralem Wissen), oder auch als Rahmen (Beschreibungen von Objekten) und Skripten (Beschreibungen von Abläufen) abgelegt.

Die Wissensbasis besteht aus verschiedenen Teilen. Man unterscheidet zwischen bereichbezogenem Wissen von Experten, fallspezifischem Wissen von Benutzern und Zwischen- und Endergebnissen, die von der Problemlösungskomponente hergeleitet worden sind. Diese Unterteilung orientiert sich an die Herkunft des Wissens.

Eine andere Unterteilung ergibt sich aus dem Gebrauch des Wissens. Die resultierenden Wissensarten sind Faktenwissen, Ableitungswissen und Steuerungs- oder Kontrollwissen. Ableitungswissen steuert den Gebrauch des Faktenwissens, Kontrollwissen steuert den Gebrauch des Ableitungswissens. Faktenwissen sind zum Beispiel das Fallspezifische Wissen des Benutzers und Zwischen-/und Endergebnisse. Das Expertenwissen setzt sich aus Faktenwissen und aus Ableitungs- und Kontrollwissen zusammen.

Die Benutzerschnittstelle lässt sich wiederum in drei Teile aufteilen, die für den Benutzerdialog, für die Generierung von Erklärungen und für den Wissenserwerb zuständig sind. Daraus ergeben sich folgende Untermodule:

Die **Erklärungskomponente** soll dem Anwender begründen, durch welche Regeln und Fakten ein Ergebnis zustande kam, und sie gibt dem Experten die Möglichkeit zu überprüfen, ob das System seine Schlussfolgerungen korrekt nachbildet. Somit wird die Transparenz der Vorgehensweise des Expertensystems sichergestellt.

Die **Interviewkomponente** bildet die Schnittstelle zwischen Benutzer und Expertensystem. Sie ermöglicht also den Dialog mit dem Benutzer und ermöglicht beispielsweise auch das automatische Einlesen erhobener Messdaten. Dabei ist es meist Ziel der Entwickler von Expertensystemen, den Dialog entweder in einer

weitgehend natürlichen Sprache zu führen, oder aber die Ergebnisse graphisch oder in anderer, leicht verständlicher Form darzubieten.

Die Wissenserwerbskomponente ermöglicht die strukturierte Implementierung des Wissens in die Wissensbasis. Durch sie ist es dem Experten möglich, neues Wissen einzugeben, und bei Bedarf auch wieder zu ändern. Abhängig von der Komplexität der Wissenserwerbskomponente kann der Experte das alleine oder mit der Unterstützung eines Spezialisten (Wissensingenieur), der die Umsetzung in das System beherrscht, bewältigen.

6.1 Wissensverarbeitung in Expertensystemen

6.1.1 Wissensspeicherung

Da Experten Wissen oft in Form von Regeln formulieren, wird in Expertensystemen meist eine logische Wissensrepräsentation durch Fakten und Regeln verwendet.

Regeln bestehen aus einer Vorbedingung und einer Aktion. Vorbedingungen bestehen wiederum aus der Verknüpfung von ein oder mehreren Fakten.

Nachfolgend sind zwei Beispiele für Regeln angegeben:

Regel 1 Wenn *Nackensteife* und

hohes Fieber und

Bewusstseinstrübung zutreffen

Dann *besteht der Verdacht auf Meningitis*

Regel 2 Wenn *Verdacht auf Meningitis* besteht

Dann *Nimm sofort Antibiotika*

In Regel 1 sind „Nackensteife“, „hohes Fieber“ und „Bewusstseinstrübung“ die verknüpften Fakten und „besteht der Verdacht auf Meningitis“ die Aktion.

Wenn man die Aktionen der beiden Beispielregeln betrachtet, stellt man fest, dass es sich dabei um zwei unterschiedliche Arten von Aktionen handelt. Bei „besteht der Verdacht auf Meningitis“ *handelt es sich um eine Hypothese*, die dann wahr ist, wenn alle Fakten

zutreffen. Man spricht von Implikation^{6.1} oder Deduktion^{6.2}. In Regel 2 entspricht die Aktion „Nimm sofort Antibiotika“ einer Handlung. [Puppe1991]

Zusammenfassend kann man sagen, die Regeln eines Expertensystems bestehen aus: [Winston1993]

- **Vorbedingungen** (engl. antecedents), die aus der Verknüpfung ein oder mehrerer Fakten zusammengesetzt sind,
- und aus ein oder mehreren **Aktionen** (engl. conclusions). Bei den Aktionen unterscheidet man zwei Arten: [Winston1993]
 - Implikationen oder Deduktionen, mit denen der Wahrheitsgehalt einer Hypothese hergeleitet wird; z.B. Regel 1. Expertensysteme deren Aktionen Implikationen oder Deduktionen sind nennt man *Deduction Systems*.
 - Handlungen, mit denen ein Zustand verändert wird; z.B. Regel 2. Expertensysteme deren Aktionen Handlungen sind, nennt man *Reaction Systems*.

Zur graphischen Veranschaulichung kann eine Regel ähnlich eines Schaltsymbols gezeichnet werden. Dies ist in Abbildung 6.5 dargestellt.

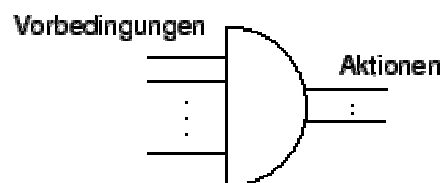


Abbildung 6.5: Veranschaulichung einer Regel als Schaltsymbol. Die Eingänge des Schaltsymbols entsprechen den verknüpften Fakten in der Vorbedingung, die Ausgänge entsprechen den Aktionen.

Die Aufteilung des Wissens in möglichst kleine „Wissensstücke“, den Regeln, macht eine Wissensbasis modular und damit relativ einfach veränderbar. Es ist auch relativ leicht möglich, diesen Grundaufbau der Regeln für anwendungsspezifische Notwendigkeiten zu erweitern. So ist es z.B. möglich, Regeln zur Darstellung von unsicherem oder unvollständigem Wissen um Unsicherheitsangaben oder Ausnahmen zu erweitern.

Um die Strukturierung und die Überschaubarkeit der Wissensbasis zu erhöhen, ist es zumeist möglich zusammengehörende Regeln, das sind Regeln, die einen bestimmten Teil des Problems behandeln, zu so genannten Wissensinseln zusammenzufassen, das heißt, ein Teilproblem wird von einer Wissensinsel gelöst und kann unter Umständen andere Wissensinseln dabei aktivieren oder von anderen Wissensinseln aus aktiviert werden. Oft ist es auch möglich, die Wissensinseln in eigene Teil-Wissensbasen zu legen, die nur dann in den Computer geladen werden, wenn das zugehörige Teilproblem gerade behandelt wird. Diese Strukturierung reduziert die im Computer aktuell zu untersuchenden Regeln und steigert so die Performance eines Expertensystems. [Gottlob1990]

Nach der Betrachtung der Wissensspeicherung soll nun betrachtet werden, wie diese Regeln intern abgearbeitet werden, um mit den vorhandenen Fakten zu neuen Schlussfolgerungen zu kommen.

Es gibt zwei prinzipielle Arten der Regelverarbeitung: Die Vorwärtsverkettung und die Rückwärtsverkettung.

6.2 Verarbeitung

6.2.1 Wissensverarbeitung: Vorwärtsverkettung

Bei der Vorwärtsverkettung (forward chaining) leitet der Regelinterpreter alle Schlussfolgerungen her, die aus den, dem Expertensystem bekannten Fakten, herleitbar sind, das heißt, das System prüft alle Regeln, deren Vorbedingungen erfüllt sind und arbeitet diese Regeln ab. Zu einer Regel die abgearbeitet wird und deren Vorbedingung erfüllt ist, sagt man auch die Regel „feuert“. Danach prüft das System wieder, welche Regeln abgearbeitet werden können.

Dies soll anhand eines Beispiels, das in Abbildung 6.6 dargestellt ist, veranschaulicht werden. [Winston1993]

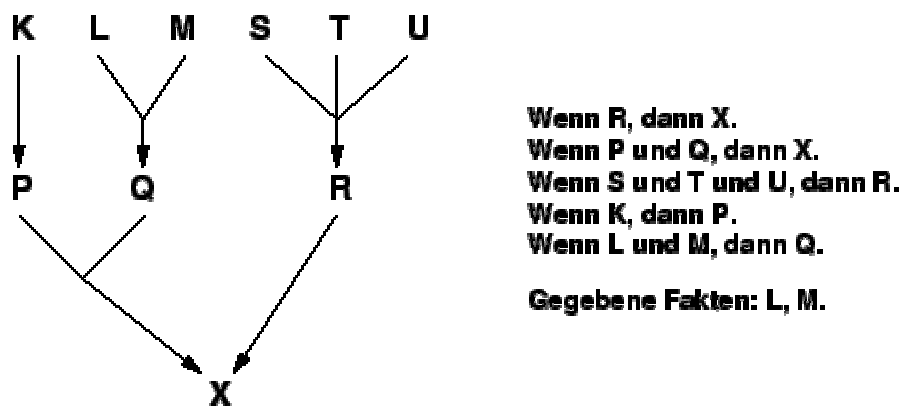


Abbildung 6.6: Beispiel eines Regelsystems.

In Abbildung 6.6 ist ein Regelbaum dargestellt, der aus fünf Regeln besteht. Mittels der gegebenen Fakten L und M wird nun im Forward Chaining Verfahren versucht, etwas zu beweisen. Das System hat kein vorgegebenes Ziel, sondern sieht sich alle Regeln durch und schaut nach, welche abgearbeitet werden können. In dem Beispiel kann nur eine einzige Regel feuern, nämlich, wenn L und M erfüllt sind, dann schließe Q. Das heißt, Q wird als neues Faktum erschlossen und zu den gegebenen Fakten L und M hinzugefügt. Danach kann keine weitere Regel ausgeführt werden, was dazu führt, dass die Vorwärtsverkettung aufhört zu arbeiten.

6.2.2 Wissensverarbeitung: Rückwärtsverkettung

Während man mit der Vorwärtsverkettung nur Schlussfolgerungen aus einer vorgegebenen Faktenmenge beziehen kann, eignet sich ein rückwärtsverkettender Regelinterpretier (Backward Chaining) auch zum gezielten Erfragen noch unbekannter Fakten. Ein Backward Chaining Regelinterpretier startet mit einem vorgegebenen Ziel. Wenn das Ziel nicht in der Menge der bekannten Fakten vorkommt, entscheidet der Regelinterpretier zunächst, ob es abgeleitet werden kann oder ob es erfragt werden muss. Ein Faktum kann dann abgeleitet werden, wenn zumindest eine Regel existiert, in der das Faktum auf der rechten Seite, der Seite der Aktion, vorkommt. Existiert keine solche Regel, bleibt dem System nur die Möglichkeit, dieses Faktum vom Anwender zu erfragen. [Winston1993]

Im Falle der Ableitung werden alle Regeln abgearbeitet, in deren Aktionsteil das Ziel enthalten ist. Wenn bei der Überprüfung der Vorbedingungen einer Regel ein Parameter unbekannt ist, wird ein Unterziel zur Bestimmung dieses Parameters generiert und der Backward Chaining Mechanismus zur Bestimmung dieses Unterziels rekursiv herangezogen. Das Endergebnis ist die Bestimmung eines Wertes für das vorgegebene Ziel und für alle Unterziele, die Evaluierung der relevanten Regeln und das Stellen der notwendigen Fragen.

6.2.3 Vorwärtsverkettung versus Rückwärtsverkettung

Während in Reaction Systems immer die Vorwärtsverkettung verwendet wird, kann ein Deduction System entweder mit Vorwärtsverkettung oder Rückwärtsverkettung arbeiten. Welche Art der Verkettung nun tatsächlich verwendet wird, hängt von der Art der Anwendung ab. [\[Winston1993\]](#)

Für die Vorwärtsverkettung wird man sich entscheiden, wenn viele Fakten sehr wenigen Regeln gegenüber stehen, oder alle möglichen Fakten vorgegeben sind und man alle daraus ableitbaren Schlussfolgerungen wissen möchte. [\[Winston1993\]](#)

Wenn die gegebenen oder eruierten Fakten zu einer großen Anzahl von Schlüssen führen, aber die Anzahl der Wege zum gewünschten Ziel klein ist, sollte man auf Rückwärtsverkettung zurückgreifen. Würde man Vorwärtsverkettung anwenden, würden viel Regeln abgearbeitet, deren Ergebnis schlussendlich nicht weiter benötigt wird. Ein Anwendungsfall für Rückwärtsverkettung ist, wenn keine oder wenige Fakten bekannt sind und man ein oder mehrere Hypothesen beweisen möchte. [\[Winston1993\]](#)

6.3 Konfliktlösungsstrategien

Wie oben gezeigt wurde, kann es vorkommen, dass mehrere Regeln gleichzeitig feuerbereit sind. Da aber immer *nur eine Regel feuern kann, muss eine Regel aus dieser Menge der feuerbereiten Regeln ausgewählt und bearbeitet werden*. Die Menge der feuerbereiten Regeln bezeichnet man als Konfliktmenge und die Auswahl einer bestimmten Regel aus dieser Menge als Konfliktlösungsstrategie. Bei der Konfliktlösungsstrategie unterscheidet man folgende Methoden: [\[Winston1993\]](#)

Auswahl nach der Reihenfolge:

Die erste anwendbare Regel feuert (Trivialstrategie)

Die aktuellste Regel feuert, d.h. die Regel, deren Vorbedingungen sich auf möglichst neue Einträge in der Faktenmenge bezieht.

Auswahl nach der syntaktischen Struktur der Regel:

Die spezifischste Regel feuert, d.h. die Regel, deren Vorbedingung die einer anderen Regel als Vorbedingung vorkommt und noch mit zusätzlichen Aussagen verknüpft ist.

Die syntaktisch größte Regel feuert, d.h. die, die meisten Aussagen in der Vorbedingung enthält

Auswahl mittels Zusatzwissen:

Die Regel mit der höchsten Priorität feuert. Dazu muss jeder Regel eine Priorität, die z.B. als Zahl repräsentiert sein kann, zugeordnet werden.

Zusätzliche Regeln, so genannte Meta-Regeln steuern den Auswahlprozess.

Der Konfliktlösungsstrategie kommt speziell bei Reaction Systemen eine besonders große Rolle zu. So können in vielen Fällen bestimmte Handlungen erst dann ausgeführt werden, wenn andere Handlungen bereits abgeschlossen sind. So kann man z.B. ein Auto erst starten, wenn man den Zündschlüssel in das Zündschloss gesteckt hat. In Deduction Systemen entsteht durch das Feuern einer Regel nur ein neues Faktum, darum spielt die Reihenfolge, in der die Regeln feuern, in Bezug auf das Ergebnis keine Rolle. Die Reihenfolge der Abarbeitung der Regeln hat jedoch einen direkten Einfluss auf die Geschwindigkeit, mit der ein bestimmtes Ziel bewiesen werden kann. Anschaulich wird dies, wenn man sich vorstellt, es feuern alle jene Regeln zuerst, die keine Fakten liefern, die notwendig sind, um das geforderte Ziel zu beweisen. Die Konfliktlösungsstrategie hat somit einen direkten Einfluss auf die Performance eines Expertensystems. [Winston1993]

7 Einsatz und Einsatzgebiete von Expertensystemen

(Zusammengestellt von Sandra Müller, Mahsa Tandorost, Sonja Duschek, Jessica Staub, Julia Kirsch, Yvonne Dittmann)

Expertensysteme sind Computerprogramme, die Wissen und Schlussfolgerungen benutzen, um Probleme zu lösen, die menschlichen Sachverstand erfordern. Sie können für die verschiedensten Einsatzbereiche entworfen werden, angefangen bei der medizinischen Diagnostik, über die Sicherung von Gefahrguttransporten bis hin zu allen Arten von komplexen technischen, betriebswirtschaftlichen und sogar juristischen Problemstellungen. Sie werden eingesetzt, um Zeit und Kosten zu sparen (Personal- und Produktionskosten), die Produktivität zu steigern und eine verbesserte Qualitätskontrolle zu erreichen. Am bekanntesten sind die Diagnose- und Beratungssysteme. Expertensysteme werden außerdem auch dort eingesetzt, wo schwierige Konfigurationen unter Berücksichtigungen von Schnittstellen und Nebenbedingungen erarbeitet werden müssen, zum Beispiel beim Computerbau. Problematisch wird es in den Bereichen, in denen menschliche Kreativität und Vorstellungsvermögen gefordert sind.

Im Folgenden sind die wesentlichen Einsatzgebiete mit Fallbeispielen genannt und kurz beschrieben.

7.1 Medizin

MYCIN war eines der ersten und bekanntesten Expertensysteme zur Diagnose von bakteriellen Infektionskrankheiten des Blutes und Hirnhautentzündungen. Es wurde seit 1972 an der Stanford Universität (USA) entwickelt. Obgleich dieses System sehr bekannt ist, wurde es nur experimentell eingesetzt (Henner Schneider). Aber ausgehend von MYCIN wurden eine Vielzahl weiterer Expertensysteme mit komplexer Architektur und umfangreichen Regeln entwickelt und in den verschiedensten Bereichen eingesetzt, wie etwa PUFF (Dateninterpretation von Lungentests) und CADUCEUS (Diagnostik in der inneren Medizin).

In MYCIN ist das Wissen in über 450 Regeln gespeichert. MYCIN zeichnet sich zusätzlich durch seine klare Trennung zwischen Wissensrepräsentation und Inferenzmaschine aus. Die Entwicklung dieser Technik machte es möglich, dass in weiterer Folge das medizinische Wissen aus MYCIN entfernt wurde und die

Inferenzmaschine unter dem Namen **EMYCIN** als Grundlage für andere Expertensysteme diente. *EMYCIN* war somit die erste Expertensystem-Shell.

7.1.1 Mycin

Funktion von Mycin:

Es berät den Arzt bei der Befundermittlung und der Diagnoseerstellung von ansteckenden Infektionskrankheiten des Blutes und von Hirnhautentzündungen und es unterstützt ihn bei der Therapie. Aus den Ergebnissen von Blutuntersuchungen, den Werten von Bakterienkulturen und anderen Angaben gewinnt man Rückschlüsse darauf, welche Mikroorganismen eine Infektion hervorruft.

Dazu gelangte es mit Regeln wie nachstehender:

WENN sich die Kultur im Blut befindet und gram-positiv ist und die Eingangspforte der Magen-Darm-Trakt ist

UND

[A] - der Unterleib der Infektionsort ist

ODER

[B] - das Becken der Infektionsort ist,

DANN liegt der Schluss nahe, dass Enterobakterien die Gruppe von Organismen sind, für die eine Therapie angezeigt erscheint.

7.1.2 Versuch, um die Leistungsfähigkeit von Mycin zu testen:

Es wurden 10 Patienten zufällig ausgesucht. Mycin, sieben Ärzte und ein Medizinstudent gaben ihre Behandlungsvorschläge für jeden Kranken ab. Acht Spezialisten beurteilten diese Empfehlungen. Sie wussten nicht, dass einer der zu beurteilenden Fachleute ein Expertensystem sein könnte und bewerteten die Vorschläge folgendermaßen: Mycin bekam in 52 aller Fälle recht, die Ärzte in 34-50 der Fälle und der Student nur in 24 Fällen.

In dieser Studie bekam Mycin also mit 52/80 die höchste Zustimmungsrage. In vielen anderen Fallstudien erreichte Mycin die beachtliche Trefferrate von 90%. Solche Erfolge haben dazu beigetragen, die anfänglich grundsätzlichen Bedenken gegen Expertensysteme abzubauen und die allgemeine Akzeptanz zu erhöhen.

7.1.3 Weitere Expertensysteme in der Medizin:

- INTERNIST: Expertensystem für das Gebiet der inneren Medizin
- DENDRAL: Expertensystem zur Beurteilung molekularer Strukturen
- PUFF: Wurde aus MYCIN entwickelt und ist ein sachverständiges System zur Interpretation von Lungenfunktionsdaten
- ELEKTROPHORESESYSTEM: Expertensystem zur Interpretation von Messwerten, das in den Mikroprozessor eines Laborinstrumentes eingebaut ist und mit diesem zusammen verkauft wird
- ONCOCIN: Expertensystem, das Ratschläge zur Durchführung einer protokollgesteuerten Chemotherapie bei bösartigen Tumoren gibt
- VIE-PNN: Expertensystem zur Kalkulation der parenteralen Ernährung von intensiv behandelten Früh- und Neugeborenen
- CENTAUR: Expertensystem auf dem Gebiet von Lungenerkrankungen. Technisch überarbeiteter Nachfolger von den Expertensysteme MYCIN und PUFF
- MED: Expertensystem, dass wie ein Spezialisten-Konzil arbeitet und sämtliche Sparten der Medizin abdecken soll. Neuerungen gegenüber MYCIN: Die Rechenzeit wird durch paralleles Suchen mit Informationsaustausch verkürzt und die Unzuverlässigkeit mathematischer Modelle wird vermieden, da das System unter wissensgestützter Kontrolle arbeitet.

7.2 Produktion

7.2.1 Automobilbranche

In der Automobilbranche helfen Expertensysteme dem Mechaniker bei der Diagnose für Wartung und Reparatur von Kraftfahrzeugen. Das System speichert nicht nur die üblichen technischen Details sondern auch Hinweise und Erfahrungen der Benutzer. Mercedes Benz nutzt das System DAX als Unterstützung für die Qualitätskontrolle von Automatikgetrieben in der Serienproduktion. Die Getriebe werden auf ihre Funktionsfähigkeit geprüft und das System gibt drei mögliche Diagnosen aus. Das Getriebe kann fehlerfrei sein, dann lautet die Diagnose „In Ordnung“. Stimmen die geprüften Werte nicht mit den Richtwerten überein, gibt das System Hinweise auf mögliche Ursachen. Wenn keines von beiden zutrifft, dann informiert das System den Nutzer mit einer Defaultdiagnose, gibt aber keine weiteren Hinweise.

Weitere Expertensysteme in der Automobilbranche:

→ CAMS (General Motors): Motorendiagnostik

→ IXMO (Mercedes Benz): Motorendiagnostik

7.2.2 Computertechnik

Siemens nutzt das Expertensystem SIUX zum Tuning von Datenbanken und zur Entlastung der Experten bei Routinearbeiten. Es hilft bei der Optimierung der Einstellung von Datenbankparametern, bei Auftreten einer Überlastung der Rechenanlage durch Fremdprogramme und gibt Hinweise auf schlechtes Datenbankdesign.

Anderes Beispiel für ein Expertensystem in der Computertechnik:

→ XCON: Expertensystem zur automatischen Konfiguration von Minicomputern, war bei Digital im Einsatz.

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.

7.2.3 Stahlbau

Mit Hilfe des Systems CAPS werden Energiekosten in der Stahlerzeugung eingespart, weil die Koordination der Anlagenprogramme für das Schmelzen und Gießen im Stahlwerk durch das System geregelt wird. Bisher konnte dies nur mit erfahrenen Anlagenplanern bewältigt werden.

7.2.4 Chemie

DENDRAL ist ein System zur Strukturanalyse unbekannter organischer Verbindungen. Die Herleitung der Molekülstrukturen erfolgt auf Grund spektroskopisch ermittelter Messdaten, die nach heuristischen Methoden ausgewertet werden. Wegen des eingeschränkten Wissensgebietes konnte das System bereits mit gutem Erfolg von Chemikern eingesetzt werden.

7.3 3. Dienstleistungssektor

7.3.1 Banken

GENOSTAR ist ein Beratungssystem für Kundenberater der Volksbanken und Raiffeisenbanken zur optimalen Beratung des Kunden über die Möglichkeiten der Erlangung staatlicher Finanzierungshilfen für ein Investitionsvorhaben.

7.3.2 Versicherungen

NORMRISK Kranken ist ein Expertensystem mit dem Risiken in der Krankenversicherung eingeschätzt werden können. Es unterstützt den Anwender umfassend bei der Antragsbearbeitung im Innendienst, im Außendienst und im Internet. Zum Beispiel können Außendienstmitarbeiter per Fragenmenü alle nötigen Informationen vor Ort erfassen - das vermeidet später zeitraubende Rückfragen. NORMRISK Kranken kann von jedem Unternehmen weiterentwickelt und an die eigenen Zeichnungsrichtlinien angepasst werden. Damit beim Aufbau des Expertenwissens nicht „auf der grünen Wiese“ begonnen werden muss, wird die Software mit einer vollständig gefüllten Wissensbasis ausgeliefert. Die Wissensbasis enthält alle Aspekte der Risikoprüfung wie Diagnosen, Untersuchungen, Berufe und Medikamente.

7.3.3 Logistik

TRANSEC ist ein Gefahrgut-Expertensystem zur Klassifikation und Kontrolle für den Transport gefährlicher Güter. Expertensysteme wie das in Duisburg entwickelte Gefahrgut-Expertensystem TRANSEC sind in der Lage, Informationen zu selektieren und praxisgerecht zu werten. Der Leistungsumfang dieses Expertensystems umfasst die Prüfung auf Anwendung der rund 1000 Seiten umfassenden GGV (Gefahrgutverordnung), die Klassifizierung gemäß Stoffklasse, die Ermittlung relevanter Vorschriften für Verpackung und Zusammenladung, Informationen für die Bezeichnung, Auskünfte über die Art der vorgeschriebenen Transportabwicklung sowie die Anforderungen an das Transportmittel.

7.3.4 Umwelt

Im Umweltsektor beschäftigen sich die Expertensysteme nicht nur mit reinen Umweltfakten, wie sie in Gefahrstoffdatenbanken zu finden sind, sondern auch mit Informationen und Regeln aus Rechtsvorschriften, über geographische Verhältnisse (Katasterdaten), über Transportwege (einschließlich der Lagerorte und -mengen) sowie über Messwerte (voran von Immissionsmessungen).

Die richtigen Bestimmungen aus dem Verordnungswust herauszufiltern, überfordert eine normale Rechneranwendung, wenn keine algorithmische oder relationale Darstellung gefunden werden kann.

Im Einsatzbereich Umwelttechnik und Umweltrecht geht es vor allem um die Herstellung von Regeleinrichtungen, die technische Abläufe auch unter Umweltgesichtspunkten optimieren, um Hilfestellung zu geben bei der Anlagenplanung (Konfigurationsprobleme) und in der Umweltmesstechnik. Das Institut für Landesplanung und Raumforschung in Baden Württemberg entwickelte zum Beispiel das Expertensystem WANDA, das der wissensbasierten Auswertung von Sensorinformationen in der Wasseranalytik dient.

Weitere Expertensysteme in der Umwelt:

→ PROSPECTOR Expertensystem zur Identifizierung geologische Informationen

7.3.5 Ausbildung, Schulung, Training

Expertensysteme eignen sich aufgrund ihrer Erklärungsfähigkeit sehr gut zu Ausbildungszwecken. Das Training wird dadurch kostengünstiger, effizienter und qualitativ hochwertiger. Die Simulation von Zuständen macht das Training lebensnah und realistisch. Die Eingaben des Schülers werden überwacht und das System passt sich dem Ausbildungsstand des Schülers an.

→ GUIDEon: Mit diesem Expertensystem wurde erstmals der Versuch unternommen, ein existierendes Expertensystem (MYCIN) in der Lehre anzuwenden. Die Wissensbasis von MYCIN wird von GUIDEon interpretiert. Ein Student erhält Information über einen Patienten und soll eine Diagnose erarbeiten.

8 Quellenangaben:

- <http://godard.oec.uniosnabrueck.de/.../winf2/vorlesungen/rap39899/wbs04n.pdf>
 - <http://www.wi.uni-muenster.de/wi/studieren/wbs/ws00-01/kiba-kapitel-226.pdf>
 - http://wwwinfo6.informatik.uniwuerzburg.de/teach/.../KI/skript/Kap01_6.pdf
 - <http://www.barske.com/FP/PRIVAT/EX.HTML>
 - http://hypractiphe.kicksass.net/studies/ws03/gruwiss/08_Expertensysteme.pdf
 - <http://galahad.informatik.tu-chemnitz.de/PAPERS/cad-96/node5.html>
 - <http://www.jurpc.de/aufsatz/19980021.htm>
 - <http://www.iicm.edu/greif/node8.html>
 - <http://www.fiz-technik.de> (Abstracts aus den Datenbanken TEMA und MEDI)
 - http://www.weknow.ch/marco/A2000/GES/Handouts_GES.htm
 - Klaus-Dieter.Althoff@t-online.de (Klaus-DieterAlthoff)
 - marco.bettoni@weknow.ch
 - <http://de.wikipedia.org/wiki/Expertensystem>
 - http://de.wikipedia.org/wiki/Regelbasiertes_System
-
- Cornelia Petcu: Expertensysteme - JurPC Web-Dok. 21/1998
 - Gerald Reif (2000-02-01), IICM (institute for information systems and computer media - Graz); nach Gottlob [1990] und Puppe [1991]
 - Henzler, Rolf. G.: **Information & Dokumentation**, 1.Aufl., Springer Lehrbuch Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1992
Kapitel 4 "Aufbau von Datenbanken", S. 84+85
 - Davenport, Thomas H.; Prusak, Laurence: **Wenn ihr Unternehmen wüsste, was es alles weiß** – Das Praxisbuch zum Wissensmanagement, 2. Aufl., Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 1999 S. 172, 193, 220, 234, 245, 263, 275
 - Haun, Matthias: **Handbuch Wissensmanagement** – Grundlagen und Umsetzung, Systeme und Praxisbeispiele, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2002, Kapitel 7 „Knowledge Computing“, S. 251-263
 - Petkoff, Boris: **Wissensmanagement**, 1. Aufl., Addison Wesley Longman Verlag GmbH, 1998 Kapitel 1.2 „Strukturierung von Expertenwissen“, S. 47f

- Probst, Gilbert; Raub, Steffen; Romhardt, Kai: **Wissen managen** – Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen, 3. Aufl., Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, 1999, Kapitel 5 „Wissen identifizieren“ & Kapitel 8 „Wissen (ver)teilen“, S. 117, 247f
- Mlynski, Michael (Diplom-Ingenieur): **Eine neue Methode des unscharfen Schließens für Expertensysteme**, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Rheinisch- Westfälischen Technischen Hochschule Aachen zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Elektrotechnik) genehmigte Dissertation, 1. Auflage, Klinkenberg Verlag 2003
- Savory, Stuart E.: **Grundlagen von Expertensystemen** – Ein Lehrbuch der Nixdorf Computer AG, Oldenbourg-Verlag, München, Wien, 1988
- Wilms, Falko E.P.: **Konzeptuelle Elemente eines Wissenstransfers** (Warum Expertensysteme die menschliche Intelligenz nicht ersetzen können), Universität Lüneburg (FB Wirtschafts- & Sozialwissenschaften), 1990
- Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung MBH: **Aus der Arbeit der Forschungsgruppe Expertensysteme** - Arbeitspapiere der GMD, Forschungsgruppe Expertensysteme, Sankt Augustin, 1988
- Fiedler, Uwe; Baldeweg, Frank: **Expertensysteme in der technischen Diagnostik**, Verlag Technik GmbH, Berlin, 1990
- Mertens, P.; Allgeyer, K.; Däs, H.; Schumann, M.: **Betriebliche Expertensysteme in deutschsprachigen Ländern** – Versuch einer Bestandsaufnahme, Arbeitsberichte des Instituts für Mathematische Maschinen und Datenverarbeitung (Informatik), Friedrich Alexander Universität Erlangen, 1986
- Bullinger, Hans-Jörg; Kornwachs, Klaus: **Expertensysteme** – Anwendungen und Auswirkungen im Produktionsbetrieb, Studie aus dem Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, Stuttgart, C.H. Beck-Verlag, München, 1990
- Höpken, Andreas: **Künstliche Intelligenz, Expertensysteme und die Folgen**, Leuchtturm-Verlag, 1992

- Daniel, Manfred; Striebel, Dieter: **Künstliche Intelligenz, Expertensysteme** – Anwendungsfelder, neue Dienste, soziale Folgen, Westdeutscher Verlag, 1993
- Einführung in Expertensysteme; Frank Puppe; Springer Verlag, Berlin; Januar 1991; ISBN: 3540540237
- Marktspiegel, Expertensysteme auf dem Prüfstand. Der Einsatz von Shells, Tools and ES im Produktionsbereich; Hans J. Zinn, Eberhard Kurz; 1990; ISBN: 3885857448
- Künstliche Intelligenz, Expertensysteme: Anwendungsfelder, neue Dienste, soziale Folgen
Manfred Daniel ; Dieter Striebel
Opladen : Westdt. Verl., 1993
ISBN: 3-531-12535-4
- Betriebliche Expertensysteme in deutschsprachigen Ländern : Versuch einer Bestandsaufnahme
Peter Mertens .
Erlangen, 1986
Arbeitsbericht des Institutes für Mathematische Maschinen und Datenverarbeitung (Informatik), Friedrich Alexander Universität Erlangen Nürnberg, Bd 19, Nr 6
- Expertensysteme : Entscheidungskriterien für Manager
Peter Johannes
München : Oldenbourg, 1990
ISBN: 3-486-21419-5
- Expertensysteme Nicht nur für Informatiker
Peter Schnupp
Ute Leibrandt
Springer- Verlag Berlin Heidelberg 1986
ISBN 3 540 15155 9

- Erklärungsfähigkeit kooperierender regelbasierter Expertensysteme zum diagnostischen Problemlösen
 Diplom- Informatiker Stefan Wollny
 Fakultät IV Elektrotechnik und Informatik der Technischen Universität Berlin
 zur Erlangung der Grades Doktor der Ingenieurwissenschaften Dr. Ing.
 Berlin 2003
- Konzeptuelle Elemente eines Wissens- Transfers
 (Warum Expertensysteme die menschliche Intelligenz nicht ersetzen können)
 Falko E. P.Wilms
 Universität Lüneburg, Fachbereich Sozial- und Kulturwissenschaften
 Arbeitsbericht Nr. 85
 ISSN 0176 7275
 Lüneburg September 1990
- Künstliche Intelligenz, Expertensysteme und die Folgen
 Andreas Höpken
 Herausgegeben von Fritz M. Kath
 ISSN 0724 892 X
 ISBN 3 88064 210 9
 Verlag 1992
 Expertensystem Praktikum
 Peter Schnupp, Chau T. Nguyen Huu
 Springer- Verlag 1987
 ISBN 3 540 17528 8, 0 387 17528 8
- developing industrial case-based reasoning application,
 Ralf Bergmann
 Springer Verlag 2003
- Hesse, Wolfgang: Ontologie(n) in: Informatik Spektrum Volume 25, Number 6,
 PY: 2002
- Teufel, Schlienger
 HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik 216, 2000, S. 18 - 31
- c't - Magazin für Computertechnik, 6/1990, S. 52
 (Expertensystem-Shells auf dem PC, Teil 1
 Achim Manche, Lothar Rausch, Dr. Karl-Heinz Simon

- c't - Magazin für Computertechnik, 9/2000, S. 102
 Helge Cramer, Dr. Wolfgang Stieler
 Virtueller Arztbesuch
 Medizinische Beratung im Web: Kommt das E-Health-Business?
- c't - Magazin für Computertechnik,
 Expertensysteme mit Gedächtnis
 Thomas J. Schult
- c't - Magazin für Computertechnik, 4/1991, S. 78
 Netze im Aufwind
 Künstliche neuronale Netze - Stand der Forschung und praktischer Einsatz
 Terrence Barr
- c't - Magazin für Computertechnik, 3/1991, S. 32
 Menschliche Maschinen
 Die lange Geschichte der KI
 Klaus Manhart
- c't - Magazin für Computertechnik, 4/1990, S. 142
 Nur für Experten
 Zeno schreibt Expertensysteme in C und Pascal
 Klaus Zerbe
- c't - Magazin für Computertechnik, 5/1994, S. 110
 Schwellensituation
 Was bringen Expertensysteme dem Umweltschutz?
 Achim Manche, Dr. Karl-Heinz Simon
- NfD, Jahrgang 47, S. 3
 Konzeption eines Expertensystems zur Unterstützung von Endbenutzern bei
 der Vorbereitung von Recherchen
 Siemer, J.
- NfD, Jahrgang 41, S. 215
 Künstliche Intelligenz – ihr Beitrag zur Gestaltung des „Büros der Zukunft“
 Zelewski, St.
- NfD, Jahrgang 41, S. 299
 Zur Benutzergerechtigkeit von Expertensystemen
 Klee, H.W.

- NfD, Jahrgang 36, S. 2
Expertensysteme als intelligente Informationssysteme, Konzepte für die funktionale Erweiterung des Information Retrieval
Hahn, U.