

**Arbeitsbericht Nr. 17**

**Expertensysteme**

**- Übersicht über Konzeptionen und betriebs-  
wirtschaftliche Anwendungsmöglichkeiten -**

von

**Dr. Stephan Zelewski**

**Köln 1986**

**Alle Rechte vorbehalten.**

Universität zu Köln

Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre,  
Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft

Arbeitsbericht 14/1986

Dr. Stephan Zelewski

Expertensysteme  
- Übersicht über Konzeptionen und  
betriebswirtschaftliche Anwendungsmöglichkeiten -

Köln 1986

Universität zu Köln

Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre,  
Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft

Dr. Stephan Zelewski

Expertensysteme

- Übersicht über Konzeptionen und  
betriebswirtschaftliche Anwendungsmöglichkeiten -

Köln 1987

Arbeitsbericht Nr. 17

**Expertensysteme**

**- Übersicht über Konzeptionen und betriebs-  
wirtschaftliche Anwendungsmöglichkeiten -**

von

Dr. Stephan Zelewski

2. Auflage des Arbeitsberichts 14/1986

Köln 1986

Alle Rechte vorbehalten.

Abstract

Der Begriff "Expertensystem" hat in jüngster Zeit eine erstaunliche Rezeption erfahren. Hierbei wurde er allerdings so weit verwässert, so vielfältig verwendet oder so unbestimmt gelassen, daß von einem definitiven Notstand gesprochen werden kann. Daher erfolgt eine Systematisierung der unterschiedlichen Konzepte zur Definition von Expertensystemen. Besonders herausgestellt werden die leistungs-, die struktur- und die funktionsbezogenen Definitionsvarianten. Um die betriebswirtschaftliche Relevanz der Beschäftigung mit Expertensystemen zu unterstreichen, wird ein Überblick über deren Anwendungsmöglichkeiten in Unternehmen gewährt. Schwerpunkte bilden ihr Einsatz bei der Produktion von Sachgütern und Dienstleistungen, in der Unternehmensleitung und -verwaltung sowie bei der Gestaltung von Produktionspotentialen, Produktionsprozessen und Produkten.

Inhaltsübersicht

	Seite
1 Einführung	1
2 Definitionskonzepte im Bereich der Künstlichen Intelligenz	2
2.1 Übersicht	2
2.2 Leistungsbezogene Definitionskonzepte	6
2.3 Strukturbezogene Definitionskonzepte	10
2.3.1 Übersicht über die Strukturkomponenten	10
2.3.2 Das Problem der Wissenssegmentierung	12
2.3.3 Weitere Unzulänglichkeiten der strukturbezogenen Sichtweise	15
2.4 Funktionsbezogene Definitionskonzepte	18
3 Anwendungsbereiche der Künstlichen Intelligenz	21
3.1 Rahmenlegung	21
3.2 Expertensysteme im Basissystem	22
3.3 Expertensysteme im Informationssystem	25
3.3.1 Unterstützung der Unternehmensverwaltung	26
3.3.2 Unterstützung der Unternehmensleitung	27
3.3.3 Gestaltung von Produktionspotentialen	28
3.3.4 Gestaltung von Produktionsprozessen	30
3.3.5 Gestaltung von Produkten	32
Literaturverzeichnis	33

## 1 Einführung

Der Erforschung der Künstlichen Intelligenz wird seit Beginn der achtziger Jahre seitens der Betriebswirtschaftslehre zunehmende Beachtung geschenkt. Insbesondere unter dem Etikett "Expertensystem" werden dem betrieblichen Anwender neuartige Leistungspotentiale von informationsverarbeitenden Automaten verheißen. Trotz anspruchsvoller Attribute - wie etwa dem der "wissensbasierten Problemlösung" - bleibt oftmals unklar, worin die grundsätzliche Neuartigkeit solcher Automaten liegen soll. Die vorliegenden definitorischen Ansätze erweisen sich - trotz auf den ersten Blick eingängiger Formeln - bei genauerer Analyse als wenig operational, unscharf oder so vielschichtig, daß das Definiendum inhaltlich zerfließt. Mitunter wird sogar der Vorwurf erhoben, ein geschicktes Software-Marketing nutze den aktuellen Trend von Diskussionen über Künstliche Intelligenz und Expertensysteme aus, um strukturell kaum veränderte Programmpakete mit neuem Image zu versehen<sup>1)</sup>.

Als ein Beitrag zur begrifflichen Klärung dieses Bereichs der Informationsverarbeitung wird ein Überblick über die Hauptströmungen des Verständnisses von Künstlicher Intelligenz und Expertensystemen vorgelegt. Zum Zweck der inhaltlichen Konkretisierung werden - aus vornehmlich betriebswirtschaftlicher Sicht - die wesentlichen Anwendungsbereiche von Automaten aus diesem Bereich skizziert.

---

1) Vgl. z.B. die kritischen Ausführungen von Born (1986), S. 26ff.; vgl. auch Mertens (1986), S. 905f.; Bobrow (1986), S. 893; Schnupp (1986), S. 8. Vgl. zu einem ausführlichen Abgrenzungsversuch bezüglich Expertensystemen und konventioneller (automatischer) Informationsverarbeitung Schmitz (1986), S. 504ff.

## 2 Definitionskonzepte im Bereich der Künstlichen

### Intelligenz

#### 2.1 Übersicht

Als Objektbereich der Erforschung der Künstlichen Intelligenz (KI) wird die Synthese und die Analyse artifizieller, d.h. "künstlich" geschaffener Gebilde betrachtet, die sich - in einem noch näher zu konkretisierenden Verständnis - als "intelligent" erweisen. Da diese Artefakte ihr Leistungspotential unabhängig von menschlichen Eingriffen in autonomer Weise entfalten sollen, gehören sie zur Klasse der Automaten. Darüber hinaus wird zur Zeit ausnahmslos unterstellt, daß diese Automaten ihre Leistungen aufgrund von informationsverarbeitenden Prozessen realisieren<sup>2)</sup>. Folglich läßt sich das Erkenntnisobjekt der KI-Forschung durch die Klasse der intelligenten informationsverarbeitenden Automaten - kurz: intelligente Automaten - charakterisieren. Im Vorgriff auf eine spätere Rechtfertigung<sup>3)</sup> werden solche Automaten hier synonym als Expertensysteme bezeichnet.

Wesentliche Probleme bereitet bei diesem ersten, noch sehr abstrakten Definitionsansatz das Attribut "intelligent". Beispielhaft seien einige wenige Begriffsfüllungen hervorgehoben, die das breite Definitionsspektrum aus der KI-Literatur grob überdecken:

- Eine weite Resonanz im deutschsprachigen Gebiet hat Raulefs gefunden<sup>4)</sup>, der sich auf den Expertenbegriff und die innere Struktur von Expertensystemen bezieht: "Ein Experte ist ein Spezialist für ein bestimmtes, eingegrenztes Gebiet, der auf diesem Gebiet bei Kunden entstehende Probleme lösen und Kun-

2) Dies schließt nicht aus, daß neben die Funktion der Informationsverarbeitung auch andersartige Prozesse treten. Dies ist insbesondere bei intelligenten Robotern in der Gestalt von Wahrnehmungs- und Ausfühungsprozessen durch Sensoren bzw. Effektoren der Fall, auf die weiter unten zurückgekommen wird. Solche weiteren Prozeßarten werden aus definitorischer Sicht jedoch nur als akzidentielle Erweiterungen betrachtet, die auch außerhalb der KI - etwa im Rahmen der Robotik - erforscht werden.

3) Vgl. S. 21.

4) Vgl. z.B. die Wiedergabe bei Mertens (1983), S. 688ff.; ähnlich auch Schnupp (1986), S. 8f.

den bei der Anwendung von Lösungen beraten kann. ... Ein Expertensystem ist ein Rechensystem, der<sup>5)</sup> die ... bezeichnete Tätigkeit teilweise mechanisiert."<sup>6)</sup>

"Ein als Beratungssystem ausgebautes Expertensystem besteht aus folgenden Komponenten: ... die Wissensbasis ... die Problemlösungskomponente ... die Erklärungskomponente ... die Wissensakquisitionskomponente ... die Dialogkomponente."<sup>7)</sup>

- Puppe hebt den Aspekt der Nachahmung menschlicher Fähigkeiten hervor: "Expertensysteme sind Computerprogramme, die Fähigkeiten von Experten simulieren sollen."<sup>8)</sup>
- Stefik verlagert den Schwerpunkt fort von der Simulation hin zur Problemlösung: "Expert systems are problem-solving programs that solve substantial problems generally conceded as being difficult and requiring expertise."<sup>9)</sup>
- Bruderer gibt den Expertenbezug zu Gunsten der uneingeschränkten Problemlösungsfähigkeit vollkommen auf: "Programme mit künstlicher Intelligenz streben ... eine wirksame Problemlösung an, wobei sie gleich wie der Mensch oder auf eine andere Weise vorgehen. Letztlich wollen sie die Leistungen des Menschen übertreffen."<sup>10)</sup>
- Bungers und di Primio heben die Rolle der Wissensanwendung zur Problemlösung hervor: "Ein Expertensystem kann Wissen eines speziellen Fachgebietes erwerben und zur Lösung konkreter Problemstellungen einsetzen."<sup>11)</sup>

---

5) Zitiert nach dem Original; gemeint ist wohl "das".

6) Raulefs (1982), S. 62.

7) Raulefs (1982), S. 63; vgl. auch dort die Strukturdarstellung durch Abb. 1.1.

8) Puppe (1986), S. 1. Ähnlich spricht Weizenbaum (1982), S. 268, von einer "Maschine nach dem Bild des Menschen".

9) Stefik (1982), S. 135f.

10) Bruderer (1978), S. 9.

11) Bungers (1984), S. 3.

- Feigenbaum konzentriert sich auf das Objekt intelligenter Informationsverarbeitung: "... the applied artificial intelligence work ... is based on computer programs that do symbolic manipulations and symbolic inference, not calculation."<sup>12)</sup>
- Siekmann bezieht einen Standpunkt, der die Künstliche Intelligenz als eigenständige Wissenschaft hervorhebt: "Die Künstliche Intelligenz läßt sich methodisch nach Fachgebieten gliedern wie Heuristische Suche, Planen, Repräsentation von Wissen, Deduktion und Inferenzmethoden usw. Aus anwendungsorientierter Sicht haben sich jedoch die folgenden fünf Teildisziplinen als Kernfächer herausgebildet ... :"<sup>13)</sup>  
"Verarbeitung natürlicher Sprache ... Expertensysteme ... Deduktionssysteme ... Robotertechnologie ... Computersehen ... ." <sup>14)</sup>

In diesen Definitionen werden mehrere Aspekte miteinander vermengt, die der Klarheit halber getrennt dargestellt werden:

- Die leistungsbezogenen Ansätze heben bestimmte Fähigkeiten von intelligenten Automaten - vor allem die Nachahmung von menschlichem Verhalten oder die Lösung von Problemen<sup>15)</sup> - hervor<sup>16)</sup>.
- Die qualifizierenden Zusätze schränken den Gültigkeitsbereich des Begriffs intelligenter Automaten auf Fähigkeiten einer bestimmten Mindest-Anspruchshöhe ein. Es handelt sich um Ergänzungen zu den leistungsorientierten Ansätzen<sup>17)</sup>.

12) Feigenbaum (1980), S.1.

13) Siekmann (1982), S. 3.

14) Siekmann (1982), S. 3ff.

15) Problemlösung bezeichnet hierbei keinen Unterfall menschlichen Verhaltens, da - wie aus der Definition von Bruderer ersichtlich wird - Problemlösungen auch in einer Weise erfolgen können, die nicht der typisch menschlichen Vorgehensweise entspricht. Näheres hierzu findet sich bei Zelewski (1986a), S. 135f. u. 353.

16) Vgl. die o.a. Zitate von Raulefs, Puppe, Stefik, Bruderer und Bungers; vgl. auch die Ausführungen in Abschnitt 2.2.

17) Vgl. die o.a. Zitate von Raulefs, Puppe und Stefik.

- Die strukturorientierten Konzepte kennzeichnen Expertensysteme durch charakteristische Komponenten, die im Rahmen der konventionellen Informationsverarbeitung als Softwaremodule nicht explizit hervorgehoben werden<sup>18)</sup>.
- Die ressourcenbezogenen Varianten heben einen bestimmten Input bei der Informationsverarbeitung intelligenter Automaten - das Wissen - hervor<sup>19)</sup>.
- Der objektorientierte Ansatz stellt Symbole - anstatt von konventionellen Daten - als Objekte der Informationsverarbeitung durch intelligente Automaten heraus<sup>20)</sup>.
- Die programmierbezogene Variante erweitert den objektorientierten Ansatz in der Weise, daß sie unterstellt, die Realisierung von intelligenten Automaten beruhe auf spezifischen, nicht-konventionellen Programmiertechniken<sup>21)</sup>.
- Die methodenorientierten Konzepte heben die Anwendung KI-spezifischer Vorgehensweisen bei der Informationsverarbeitung hervor<sup>22)</sup>.
- Die funktionsbezogenen Ansätze charakterisieren intelligente Automaten durch die Aufgaben (Anwendungsgebiete), zu deren Erfüllung sie (hauptsächlich) entwickelt werden<sup>23)</sup>.

18) Vgl. das o.a. Zitat von Raulefs und die Ausführungen in Abschnitt 2.3; vgl. auch Mertens (1983), S. 689; Schmitz (1986), S. 500ff.; Warnecke (1986), S. 548f.

19) Vgl. das o.a. Zitat von Bungers und di Primio; vgl. auch Feigenbaum (1980), S. 1f.; Hayes-Roth (1983), S. 5ff.; Harmon (1985), S. 5ff.; Schmitz (1986), S. 500 u. 504f.

20) Vgl. das o.a. Zitat von Feigenbaum; vgl. auch Nilsson (1974), S. 779; Newell (1982), S. 37, 41f. u. 46ff.

21) Vgl. Harmon (1985), S. 7ff. u. 79ff.; Schmitz (1986), S. 509f.; Bobrow (1986), S. 891.

22) Vgl. Nilsson (1974), S. 780; Siekmann (1982), S. 3 u. 6; Hennings (1985a), S. 22f.; Hahn (1985), S. 368 u. 370f.; Schmitz (1986), S. 499 u. 502ff.; Puppe (1986), S. 3ff.

23) Vgl. Nilsson (1974), S. 780; Siekmann (1982), S. 3ff.; Mertens (1982), S. 695f.; Raulefs (1982), S. 62 u. 64; Lehmann (1984), S. 10; Hennings (1985a), S. 17ff.; Hahn (1985), S. 169ff. u. 368ff.; Mertens (1986), S. 908ff.

Von diesen definitorischen Dimensionen wird nur auf die leistungs- (einschließlich ihrer Zusätze), die struktur- und die funktionsbezogene Variante näher eingegangen<sup>24)</sup>.

## 2.2 Leistungsbezogene Definitionskonzepte

Die leistungsbezogenen Ansätze zur inhaltlichen Füllung des Begriffs "Künstliche Intelligenz" lassen sich in drei Hauptrichtungen differenzieren:

- den Explanationsmodus,
- den Simulationsmodus und
- den Performanzmodus.

Auf den Explanationsmodus wird nicht näher eingegangen, weil er im Hinblick auf betriebswirtschaftliche Anwendungen nicht von Interesse ist. Intelligente Automaten werden in diesem rein forschungsbezogenen Modus als Modelle angesehen, welche die Funktionsweise des mensch-

---

24) Der ressourcenorientierte Ansatz wird im Rahmen des strukturbezogenen Konzepts mitangesprochen. Das objektbezogene Konzept wird nicht weiterverfolgt, weil die Ausgrenzung der konventionellen "Daten-" aus der Symbolverarbeitung nicht zu überzeugen vermag. So ist z.B. nicht ersichtlich, warum den Objekten gewöhnlicher Textverarbeitungsprogramme - natürlichsprachlichen Ausdrücken - nicht eben der Symbolcharakter zukommen sollte wie den Objekten "intelligenter" natürlichsprachlicher Automaten. Aspekte des methodenorientierten Ansatzes werden teilweise im Rahmen der Funktionen von intelligenten Automaten behandelt, wie z.B. Beweismethoden im Zusammenhang mit der Funktion "Theorembeweisen". Andere Methoden - wie etwa Methoden der Wissensrepräsentation, des Problemlösens oder des Wissenserlernens - werden bei den jeweils zugehörigen Komponenten (hier: Wissensbasis, Inferenz- bzw. Wissensakquisitionskomponente) des strukturorientierten Ansatzes implizit erfaßt. Wegen dieser vielfältigen Überschneidungen wird der methodenorientierte Ansatz nicht explizit ausgeführt. Darüber hinaus ließe sich bezweifeln, ob alle im Rahmen dieses Ansatzes aufgeführten Methoden spezifische Geltung für intelligente Automaten besitzen. Diese Bedenken gelten insbesondere für die heuristischen Suchmethoden, die z.B. auch seitens des Operations Research intensiv erforscht werden.

lichen Gehirns nachbilden und hierdurch zur Erklärung des menschlichen Denkens beitragen sollen<sup>25)</sup>.

Der Simulationsmodus ist unter den Definitionskonzepten für die Künstliche Intelligenz am weitesten verbreitet<sup>26)</sup>. Ihm zufolge wird ein Automat genau dann als intelligent betrachtet, wenn er das Verhalten eines Menschen bei einer Verrichtung zu simulieren vermag, deren Vollzug als intelligent qualifiziert wird. Als Verifikationskriterium für die Simulationsfähigkeit wird in der Regel der Turing-Test<sup>27)</sup> herangezogen. Bei diesem Test kann eine Person(engruppe) vermittelt einer alphanumerischen Schnittstelle an zwei Kommunikationspartner Fragen beliebigen Inhalts richten. Einer dieser beiden ist ein Mensch - der andere der zu testende Automat. Der fragenden Person(engruppe) bleibt jedoch verborgen, mit welchem Kommunikationspartner sie jeweils in Kontakt steht. Wenn es der Person(engruppe) nicht gelingt, die Antworten, die in verdecktem Wechsel durch den Menschen und den Automaten erfolgen, in statistisch signifikanter Weise als Menschen- bzw. Automatenantworten zu identifizieren, gilt der Turing-Test als erfüllt.

Das Definitionskonzept des Simulationsmodus erweist sich in mehrfacher Hinsicht als problematisch. Erstens beschränkt es den Intelligenztest auf Verhaltensweisen, die sich in Kommunikationsakten manifestieren. Hierdurch werden weite Bereiche intelligenter Leistungen - wie z.B. Erkennen von Objekten in der Umwelt - ausgegrenzt. Zweitens handelt es sich um ein anthropozentrisches Konzept, das den Zugang zu Intelligenzleistungen, die nicht in menschenähnlicher Weise erbracht werden, definitorisch versperrt. Drittens erfolgt durch den Zusatz, das simulierte Verhalten müsse als intelligent

25) Dem Explanationsmodus zuzurechnen sind z.B. das Perceptron-Modell als künstliches neuronales Netz (vgl. Rosenblatt (1961), S. 225ff.), der Automat EPAM zur Nachbildung von Gedächtnisleistungen (vgl. Feigenbaum (1963), S. 101ff.) und neuere Untersuchungen zur assoziativen Erinnerung (vgl. Beste (1986), S. 17).

26) Vgl. z.B. Schmitz (1986), S. 499; Puppe (1986), S. 1, und die bei Zelewski (1986a), S. 113, Fußnote 1, angegebenen Quellen.

27) Vgl. Turing (1950), S. 433f.

qualifiziert werden können, eine unfruchtbare Problemverschiebung. Die Unschärfe des Intelligenzbegriffs in den Humanwissenschaften, die durch eine Vielzahl konkurrierender Intelligenzbegriffe, -profile und -indikatoren offenbar wird, überträgt sich auf den Begriff der Künstlichen Intelligenz. Auch wenn ein Automat den Turing-Test erfolgreich besteht, läßt sich darüber streiten, ob denn die dem Test zugrundegelegte Verhaltensart als intelligent bezeichnet werden darf.

Exemplarisch sei auf die Testvariante des Schachspiels verwiesen. In der Frühzeit der KI-Forschung wurde als intelligente Verhaltensweise von Automaten die - damals visionär erscheinende - Fähigkeit postuliert, die Qualifikation von erfahrenen Schachspielern zu erringen. Seitdem in jünster Zeit Schachautomaten aber die Spielstärke von internationalen Großmeistern erreicht haben<sup>28)</sup>, wird die Qualität dieser Spielkompetenz als Intelligenzindikator in Frage gestellt.

Im Performanzmodus gilt ein Automat genau dann als intelligent, wenn er in der Lage ist, selbständig Probleme zu lösen<sup>29)</sup>. In der Mehrzahl wird zusätzlich gefordert, daß die gelösten Probleme einen Mindestgrad an Schwierigkeit aufweisen müssen, um das Attribut "intelligent" zu rechtfertigen. Dieser Ansatz weist zwei bedeutsame Vorzüge gegenüber dem Simulationsmodus auf. Einerseits wird der unscharfe Begriff der menschlichen Intelligenz durch den präziseren Begriff der problemlösenden Intelligenz ersetzt. Dieser eingeschränkte Intelligenzbegriff kann leicht durch die Formulierung von Problemklassen operationalisiert werden, deren selbständige Lösung durch Automaten nachzuweisen ist. Andererseits wird die anthropozentrische Fessel abgeworfen, die Art der Problemlösung an der Vorgehensweise von Menschen zu orientieren.

Doch auch der Performanzmodus besitzt als Konzept zur Definition der Künstlichen Intelligenz eine wesent-

28) Vgl. Kopec (1986), S. 687, in bezug auf den Automaten HITECH mit einer Elo-Zahl von 2486 Punkten; das Quorum für einen Großmeister beträgt 2200 Punkte.

29) Vgl. Bruderer (1978), S. 9; Stefik (1982), S. 135; sowie die bei Zelewski (1986a), S. 134f., angeführten Quellen.

liche Schwachstelle. Denn die zusätzliche Forderung, nur die Lösung "schwieriger" Probleme als Intelligenzindikator anzuerkennen, konfrontiert den Performanzmodus mit der Aufgabe, den erforderlichen Schwierigkeitsgrad zu definieren. Diesbezüglich konnte bisher kein Konsens erzielt werden. Auch orientieren sich Konzepte zur Messung der Schwierigkeit von Problemen - wie etwa die der Komplexitätstheorie - vorwiegend am quantitativen Ressourceneinsatz, der zur Erlangung der Problemlösung erforderlich ist, aber nicht an der qualitativen Schwierigkeit der Probleme.

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht erweist sich jedoch der Performanzmodus deutlich attraktiver als der Simulationsmodus. Denn aus dieser Perspektive gilt es nicht, die Grenzen der Extension des Begriffs intelligenter Automaten abzustecken, sondern real vorgefundene betriebliche Probleme zu meistern. Daher kommt der problembezogene Ansatz des Performanzmodus den Bedürfnissen potentieller Automatenanwender im betriebswirtschaftlichen Bereich entgegen.

Darüber hinaus verweist die Definitionskonstituente des Performanzmodus, ein intelligenter Automat müsse die Problemlösung selbständig ermitteln können, auf ein wesentliches Charakteristikum der KI-Forschung. Sie bemüht sich um die Entwicklung von Automaten mit deklarativer Benutzer-Oberfläche. Dies bedeutet, daß der Automatenutzer das Problem, das ein intelligenter Automat lösen soll, nur noch zu beschreiben braucht, ohne den Ablauf der Problemlösung angeben zu müssen. Der Automat muß intern über problemlösendes Wissen - auch prozeduraler Art - verfügen, um die Vorgehensweise bei der Erarbeitung der Problemlösung selbständig festlegen zu können. In den Begriffen der konventionellen Informationsverarbeitung ausgedrückt heißt dies, daß der Automat sich selbst zu programmieren vermag: Der Benutzer muß zur Lösung eines neuartigen Problems nicht mehr ein prozedurales Programm entwerfen und implementieren. Es reicht aus, wenn er dem Automaten ein Problem durch die Angabe von Ausgangssituation, erwünschter Zielsituation und zulässigen Operatoren, welche Situationen ineinander transformieren können, beschreibt.

## 2.3 Strukturbezogene Definitionskonzepte

### 2.3.1 Übersicht über die Strukturkomponenten

Von den strukturbezogenen Ansätzen zur Konkretisierung des Begriffs intelligenter Automaten ist der bereits eingangs erwähnte, auf Raulefs zurückgehende am weitesten verbreitet ("Standardschema"). Hiernach setzt sich ein Expertensystem aus folgenden Komponenten zusammen:

- Die Wissensbasis stellt die herausragende, am häufigsten diskutierte Komponente eines intelligenten Automaten dar. In ihr wird das Wissen, das zur Bearbeitung von Aufgabenstellungen aus dem Anwendungsbereich des Automaten notwendig ist, gespeichert. Die Art der Wissensorganisation hängt nicht von den Verfahrensweisen bei der konkreten Aufgabenerfüllung ab.
- Die Problemlösungskomponente umfaßt alle Informationsverarbeitungs-Konzepte, welche auf die Informationen in der Wissensbasis zur Bearbeitung konkreter Aufgabenstellungen angewendet werden.
- Die Wissensakquisitionskomponente versetzt den Automaten in die Lage, nach seiner Entwicklung fortlaufend Wissen zur - erstmaligen oder erweiternden - Füllung seiner Wissensbasis aufzunehmen.
- Die Erklärungskomponente dient dazu, dem Automatenutzer auf Wunsch das Ergebnis der Aufgabenerfüllung - die vorgeschlagene Problemlösung - zu erläutern. Die Berechtigung seines Zustandekommens läßt sich auf diese Weise belegen.
- Die Dialogkomponente realisiert die kommunikative Schnittstelle zwischen dem Expertensystem und seinem Benutzer.

Als wesentliches Resultat der KI-Forschung gilt die logische Zerlegung der prozeduralen Programme der konventionellen Informationsverarbeitung, die nach Maßgabe des Ablaufs der Aufgabenerfüllung strukturiert sind, in die Komponenten der Wissensbasis und des Problemlösers. Hierdurch wird - zumindest auf den ersten Blick - die konventionelle Vermengung von Aufgabenbeschreibung (deklarativer Aspekt des "Was?") und Ablaufbeschreibung

der Aufgabenerfüllung (prozeduraler Aspekt des "Wie?") in zwei getrennte Strukturblöcke aufgelöst<sup>30</sup>).

Von dieser Separation deklarativer und prozeduraler Aspekte wird ein befruchtender Impuls für die Informatik im allgemeinen erwartet. Da keine eindeutigen Beziehungen zwischen Aufgaben- und Ablauftypen existieren, besteht die Hoffnung, durch freie Kombination von Aufgabenstellungen mit Ablaufstrukturen zu neuartigen und evt. auch besonders effizienten Aufgabenerfüllungen zu gelangen.

In jüngster Zeit erfolgt sogar eine qualitative Fortentwicklung der Wissenskomponente im Rahmen der "Expertensysteme der 2. Generation" mit "tiefen Wissensbasen"<sup>31</sup>). Die Wissensbasen von Expertensystemen (der 1. Generation) waren ursprünglich so angelegt, daß vornehmlich heuristisches Erfahrungswissen in der Gestalt assoziativer Zuordnungs-Regeln vorgehalten wurde. Im Hinblick auf Diagnose-Automaten bedeutete dies z.B., daß heuristische Regeln beobachtete Funktionsstörungen (Symptome) mit Ursachen-Hypothesen verknüpften, die sich in der Vergangenheit bewährt hatten. Dieses Diagnosewissen blieb "flach", weil es kein Verständnis der inneren Funktionsweise des Objekt-Systems besaß (black box-Konzept). Die nunmehr verstärkt untersuchten "tiefen" Wissensbasen umgreifen dagegen ein kausales Modell von Struktur und Verhalten des Objekt-Systems (white box-Konzept). Anstelle heuristischer Assoziationen läßt sich mit Hilfe solcher Modelle die Menge der Ursachen, die zu einem Störungssymptom geführt haben können, kausal-logisch ableiten.

---

29) Die konventionelle Informationsverarbeitung unterscheidet noch zwischen Programmen als Algorithmen zur Lösung einer Klasse von Aufgaben und "Daten", die jeweils eine bestimmte Aufgabe aus dieser Klasse festlegen. Diese Differenzierung wird bei Expertensystemen nicht mehr aufrechterhalten, da solche Daten als aufgabenspezifische "Fakten" in die Wissensbasis eingehen. Anderer Ansicht ist jedoch Mertens (1983), S. 688, der für Expertensysteme eine Dreiteilung in Wissensbasis, Problemlöser und Daten als charakteristisch ansieht.

31) Vgl. Hart (1982), S. 12ff.; Chandrasekaran (1983), S. 425ff.; Raulefs (1984), S. 4f.; Steels (1986), S. 270ff.; Bobrow (1986), S. 881.

Die oftmals behauptete klare Trennung von Wissensbasis und Problemlösungskomponente unterliegt bei genauerer Analyse erheblichen Schwierigkeiten. Denn der - durch die Komponentenbezeichnung - zunächst nahegelegte Schluß, die Wissensbasis umfasse das gesamte Wissen eines Expertensystems, führt in die Irre: Auch die Problemlösungskomponente umfaßt Bestandteile des Automatenwissens. Daher ist ein Kriterium erforderlich, mit dessen Hilfe Wissens Elemente als zu einer der beiden Komponenten gehörig klassifiziert werden können. Zur Zeit hat die KI-Forschung jedoch noch kein eindeutiges Kriterium vorgelegt. Daher bleibt es der Gestaltungsentscheidung des Konstrukteurs eines Expertensystems überlassen, in welcher Weise er die Wissenssegmentierung in explizit ausgewiesenes Wissen der Wissensbasis und implizites Wissen der Problemlösungskomponente vornimmt.

### 2.3.2 Das Problem der Wissenssegmentierung

Beispielhaft sei auf zwei Konzepte der Wissensaufteilung eingegangen. Das erste ordnet aufgabenspezifisches Wissen der Wissensbasis zu, während allgemeines Wissen über die Art der Anwendung des aufgabenspezifischen Wissens, die zum Zweck der Aufgabenerfüllung erfolgen soll, in der Problemlösungskomponente gespeichert wird. Dieser Sichtweise entspricht die Bezeichnung der Inhalte der Wissensbasis als Objektwissen, während die Inhalte der Problemlösungskomponente Metawissen darstellen. Problematisch erweist sich diese Segmentierungsweise jedoch in zweifacher Hinsicht.

Erstens unterstellt sie eine simple zweifache Schichtung des Gesamtwissens eines Expertensystems in Objekt- und Metawissen, die zumindest auf fortschrittliche Produkte der KI-Forschung nicht mehr zutrifft. Hier ist das "Meta"wissen seinerseits hierarchisch in mehrere Ebenen gegliedert, die jeweils paarweise im Verhältnis von Objekt- und Metawissen zueinander stehen. Z.B. besitzt ein Diagnose-Expertensystem als Ob-

jektwissen oftmals Regeln über die Zuordnung von Störungssymptomen und mutmaßlichen Störungsursachen. Konkurrieren mehrere solcher Objekt-Regeln miteinander, welche das gleiche Symptom erklären, so kann eine - abermals heuristische - Meta-Regel in der Problemlösungskomponente bestimmen, diejenige Objekt-Regel auszuwählen, die in der Vergangenheit am häufigsten zu korrekten Ursachenvermutungen geführt hat. Ebenso kann die Problemlösungskomponente die alternative Meta-Regel enthalten, die Autoren der Objekt-Regeln festzustellen, die beim Wissenserwerb des Automaten ursprünglich diese Diagnose-Regeln formuliert haben, und die Regel des Autors mit der höchsten fachlichen Reputation auszuwählen. In diesem Fall umfaßt die Problemlösungskomponente zwei Meta-Regeln, die wiederum - jetzt jedoch auf der Meta-Ebene - um ihre Anwendung konkurrieren. Sie können "Objekte" einer heuristischen Meta-Meta-Regel werden, die ihrerseits diesen Anwendungskonflikt löst. Diese Hierarchie von Regelwissen läßt sich grundsätzlich beliebig weit hierarchisch fortsetzen. Es besteht kein sachliches Argument, nur die unterste Regelebene der Wissensbasis zuzuordnen. Ebenso wäre vorstellbar, in die Wissensbasis auch Heuristiken höherer Ebenen - wie die oben angeführten Regeln hinsichtlich des Anwendungserfolgs und der Autorenreputation - aufzunehmen oder die Dichotomie von Wissensbasis und Problemlösungskomponente in ein hierarchisches System mehrfach übereinandergestufteter Wissenskomponenten zu überführen.

Zweitens bleibt die Qualifizierung der Wissensbasis-Inhalte als "aufgabenpezifisch" unscharf. Denn dieselbe Information - etwa der Wert einer Materialeigenschaft - kann für einige Aufgaben spezifische Geltung erlangen, während er für andere Aufgaben bedeutungslos bleibt. Die Inhalte der Wissensbasis müßten aber - wenn sie das o.a. Segmentierungskriterium erfüllen sollen - für alle Aufgaben eines Expertensystems spezifisch sein. Darüber hinaus kollidiert diese Sichtweise mit der weit verbreiteten Auffassung, faktisches Wissen - also Informationen über die Gültigkeit von Sachverhalten - zähle immer zu den Bestandteilen der Wissensbasis. Denn größere Teile dieses Wissens besitzen keinen

aufgabenspezifischen Charakter, wie etwa das lexikalische Wissen über die Bedeutung von Ausdrücken, mit deren Hilfe Benutzer und Expertensystem miteinander kommunizieren.

Ein zweites Kriterium der Wissenssegmentierung schreibt der Wissensbasis alle Informationen deklarativen Charakters zu, während die Problemlösungskomponente prozedurales Wissen enthält. Dies entspricht der o.a. Sichtweise, zwischen deklarativer Aufgabenbeschreibung und prozeduraler Ablaufbeschreibung der Aufgabebearbeitung zu differenzieren. Diese vermeintlich klare Trennung läßt sich jedoch im allgemeinen nicht aufrechterhalten, weil die implizite Prämisse, jede Aufgabe könne ohne prozedurale Komponenten beschrieben werden, nicht immer erfüllt ist. Besteht z.B. die Aufgabe für ein Expertensystem darin, einen mehrstufigen Produktionsprozeß zu planen, dessen einzelnen Bearbeitungsgänge bei Werkstattfertigung jeweils auf unterschiedlichen Maschinen ausgeführt werden können, so benötigt der Automat prozedurales Wissen über zulässige Bearbeitungsreihenfolgen in seiner Wissensbasis, bevor die Konzepte der Problemlösungskomponente zur Plansynthese angewendet werden können. Ein anderes, real implementiertes Beispiel ist das Expertensystem SCHEDULING ASSISTANT, das die Projektplanung mit Hilfe der Netzplantechnik unterstützt. Hier sind Algorithmen zur Projektdauer-Berechnung als separate prozedurale Einheiten in der Wissensbasis abgespeichert<sup>32)</sup>. Auch ist auf das Konzept der semantischen Rahmen ("frames")<sup>33)</sup> zu verweisen, das einerseits der Repräsentation von Wissen im Rahmen der Wissensbasis dient, andererseits aber speziell dafür ausgelegt ist, auch Prozedurbeschreibungen als Wissensbestandteile aufzunehmen.

Die Problematik der Wissenssegmentierung geht über das Verhältnis von Wissensbasis und Problemlösungskomponente hinaus. Auch die anderen Komponenten des Stan-

32) Vgl. Levitt (1985), S. 67. Zugleich wird an diesem Beispiel die Willkür der Wissenssegmentierung besonders deutlich: Es hätte durchaus üblichen Implementierungskonzepten der KI-Forschung entsprochen, die Formeln zur Projektdauer-Berechnung als Routine in der Problemlösungskomponente vorzuhalten.

33) Vgl. Minsky (1975), S. 211ff.; Fox (1983), S. 34ff.

dardschemas müssen Wissen enthalten, um ihre Funktionen erfüllen zu können. So benötigt die Dialogkomponente sprachliches Wissen, um die Mensch-Maschine-Kommunikation zu ermöglichen. Soll diese Komponente darüber hinaus die Qualität einer kooperativen Schnittstelle erfüllen, die den Automatenutzer bei seiner Problemlösung aktiv unterstützt<sup>34)</sup>, so ist Zusatzwissen über die Fähigkeiten des Expertensystems (Maschinenmodell) und die Unterstützungswünsche des Benutzers (Benutzermodell) erforderlich. Wissensakquisitions- und Erklärungskomponenten setzen Wissen über mögliche Vorgehensweisen beim Wissenserwerb bzw. Wissen über die Erklärungsbedürfnisse der Automatenutzer voraus.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Wissensbasis des Standardschemas zwar den Aspekt der Wissensfundierung von intelligenten Automaten zu Recht hervorhebt, aber als Strukturkomponente eines solchen Automaten keineswegs klar definiert ist. Vielmehr durchzieht die Wissensbasierung die gesamte Struktur eines Expertensystems. Sie kann daher als ein zentrales Konzept der KI-Forschung angesehen werden.

### 2.3.3 Weitere Unzulänglichkeiten der strukturbezogenen Sichtweise

Die strukturorientierten Ansätze zur Definition von Expertensystemen leiden an mangelnder Allgemeingültigkeit, fehlender Überschneidungsfreiheit und Unvollständigkeit der aufgelisteten Strukturkomponenten.

Das Defizit an Allgemeingültigkeit erklärt sich aus dem Umstand, daß die Modularisierung von Informationsverarbeitungssystemen, an deren Ende die betrachteten Strukturkomponenten stehen, einen Implementierungsaspekt darstellt, der für den Automatenkonstrukteur eine Vielzahl von Freiheitsgraden offenläßt. Hieraus resultiert eine Vielzahl möglicher Strukturkonzepte.

---

34) Näheres zu kooperativen Schnittstellen von Expertensystemen bei Wahlster (1984), S. 103ff.; Zelewski (1986a), S. 601ff., 743ff., 1021ff. u. 1067ff.

Ohne die typischen Leistungen oder Funktionen von intelligenten Automaten zu gefährden, können - etwa nach Gesichtspunkten der Effizienz der späteren Automatenanwendung oder -modifizierung - einzelne Elemente des Informationsverarbeitungssystems zu Teilsystemen mit hoher innerer Wechselwirkungsintensität zusammengefaßt werden. Beispielsweise spricht nichts dagegen, die oben als selbständig ausgewiesene Erklärungskomponente als Subsystem des Teilsystems "Dialogkomponente" zu implementieren.

Aus diesem Sachverhalt wird zugleich die unzulängliche Überschneidungsfreiheit der vorherrschenden strukturorientierten Ansätze ersichtlich. So besitzen Erklärungs- und Dialogkomponente zumindest einen gemeinsamen Teilbereich, der sich auf die erklärende Mensch-Maschine-Kommunikation erstreckt. Bereits oben wurde auf die mehrfachen Überschneidungen der Wissensbasis mit den übrigen Komponenten des Standardschemas hingewiesen.

Die Unvollständigkeit des o.a. strukturorientierten Ansatzes manifestiert sich in den zwischenzeitlich erfolgten Vorschlägen für die Ergänzung um weitere Strukturkomponenten. Da keine dieser Anregungen einen Vollständigkeitsbeweis vorzulegen vermochte, ist auch in Zukunft mit Erweiterungen zu rechnen.

Das Standardschema läßt sich beispielsweise fortentwickeln, indem die Wissensbasis hinsichtlich der involvierten Wissensarten weiter ausdifferenziert wird. Auch ist es möglich, den Aspekt der Schnittstellen des Automaten zu seiner Umwelt dadurch zu verallgemeinern, daß die Einengung des Standardschemas auf Beratungssysteme<sup>35)</sup> aufgehoben wird: Durch die Einbeziehung weiterer Strukturkomponenten<sup>36)</sup> in der Gestalt von Sensoren und Effektoren einschließlich der zugeordneten Prä- bzw. Postprozessoren können z.B. auch intelligente Roboter erfaßt werden.

35) Vgl. Raulefs (1982), S. 63.

36) Vgl. zu solchen erweiterten Strukturschemata Lehmann (1984), S. 27ff.; Raulefs (1985), S. 21ff.; Hennings (1985a), S. 43 u. 46ff.; Zelewski (1986a), S. 163ff. u. 277f.

Ein in wesentlichen Gesichtspunkten erweitertes Strukturschema wurde von einer Arbeitsgruppe der Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH/Bonn vorgestellt<sup>37)</sup>. Es berücksichtigt die o.a. Kritik an der unscharfen Abgrenzung des Inhalts der Wissensbasis im Standardschema, indem es nicht nur Anwendungswissen in der Wissensbasis vorsieht. Vielmehr enthält diese nun auch als weitere Subkomponenten Systemwissen über die Funktionsweise des Expertensystems, Akquisitonswissen bezüglich der Lernprozesse beim Wissenserwerb, Kommunikationswissen für die Gestaltung des Mensch-Maschine-Dialogs sowie Erklärungswissen für die Erläuterung der Automatenempfehlungen. Die Problemlösungskomponente bleibt - abgesehen von ihrer Umbenennung als "Interpreterbasis" - unverändert. Gleiches gilt für die Dialogkomponente, die nun als Kommunikations-Komponente bezeichnet wird. Neuartig sind dagegen das Aktive Teilsystem und die Verwaltungskomponente.

Das Aktive Teilsystem lädt jeweils diejenigen Teile der Wissens- und der Interpreterbasis, die zur Bearbeitung der aktuellen Aufgabenstellung erforderlich sind. Außerdem protokolliert es in seinem "Tracer" alle Schritte der Aufgabenabarbeitung. Hierdurch kann der Automat z.B. - im Rahmen von backtracking-Strategien - unfruchtbare Arbeitswege abbrechen und an frühere Verzweigungsknoten der Abarbeitung zurückkehren, um eine andere Abarbeitungsrichtung zu versuchen. Auch lassen sich die Protokolle - im Falle einer erfolgreichen Aufgabenerfüllung - zur Erklärung des vom Expertensystem erzeugten Ergebnisses heranziehen. In der Dynamischen Datenbasis des Aktiven Teilsystems wird der jeweils aktuelle Stand der Aufgabenbehandlung vorgehalten.

Die Verwaltungskomponente stellt eine wichtige informationstechnische Erweiterung dar, die jedoch für den Automatenutzer keine unmittelbar ersichtliche Leistung erbringt. Sie vermittelt die einzelnen, im Ablauf der Aufgabenerfüllung zu erbringenden Teilaufgaben an die jeweils hierfür geeigneten Automatenkomponenten. Ihr anspruchsvolles Metawissen über sachgerechte Teilaufgaben-Zuordnungen stellt die Grundlage für das Kon-

---

37) Vgl. Bungers (1984), S. 6ff.

zept des verteilten Problemlösens dar, das sich noch in der Phase intensiver Grundlagenforschung befindet.

#### 2.4 Funktionsbezogene Definitionskonzepte

Die funktionsbezogenen Ansätze zur Definition von Expertensystemen decken sich weitgehend mit den zuvor ausführlich behandelten strukturorientierten Definitionskonzepten, weil die Strukturkomponenten gewöhnlich in funktionaler Weise abgegrenzt werden. Daher wird auf die funktionsbezogenen Ansätze nur kurz eingegangen, und zwar nur in bezug auf wesentliche Abweichungen vom zuvor Gesagten.

Die funktionsorientierten Konzepte verfolgen nicht die informationstechnische Funktionsabgrenzung, die der Bildung der o.a. Wissensakquisitions- und Verwaltungskomponenten zugrundeliegt, und auch nicht die bautechnische Sichtweise, welche auf die Funktionen der Umweltwahrnehmung und -beeinflussung durch Bildung von Sensor- bzw. Effektorkomponenten abstellt. Vielmehr beziehen sie sich auf die Interessen der Automatenutzer, Expertensysteme zur Erfüllung von Aufgaben ("Funktionen") aus den Betätigungsfeldern der Benutzer einzusetzen.

Aus dieser Perspektive haben sich in der KI-Literatur Funktionsbereiche herausgeschält, deren Abdeckung der Entwicklung intelligenter Automaten zugrundeliegen soll<sup>38)</sup>:

- optisches Wahrnehmen der Automatenumwelt (Bildverarbeitungssysteme),
- akustisches Erkennen und Erzeugen von natürlicher Sprache,

---

38) Vgl. die in Fußnote 23 angegebenen Quellen. Die Auflistung der Funktionsbereiche erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern faßt nur die in der Literatur vorherrschend genannten zusammen. Die Klammerzusätze enthalten nachfolgend die vorherrschenden Bezeichnungen für intelligente Automaten, welche auf die Realisierung der aufgeführten Funktionen spezialisiert sind.

- inhaltliche Verarbeitung natürlicher Sprache (natürlichsprachliche Systeme),
- Bearbeiten von Problemen (Expertensysteme im engeren Sinne, Beratungssysteme),
- Suchen nach anforderungsgerechten Lösungen in sehr großen Lösungsräumen (Suchsysteme),
- Aufstellen von Handlungs-Plänen (Planungssysteme),
- Erteilen von Auskünften über Sachverhalte (Auskunftssysteme),
- Erkennen möglicher Ursachen von Störungssymptomen in komplexen Systemen (Diagnosesysteme),
- Konstruieren von technischen Systemen (Designsysteme),
- Zusammenstellen komplexer Systeme aus Komponenten-Katalogen (Konfigurierungssysteme),
- experimentelles Analysieren oder Prognostizieren des Verhaltens komplexer Systeme (Simulationssysteme),
- Beweisen der Gültigkeit von Theoremen (Beweissysteme, Deduktionssysteme),
- abstraktes Erkennen von Regelmäßigkeiten in umfangreichen Informationsgesamtheiten (Mustererkennungssysteme),
- Erstellen begrifflicher Ordnungen in Informationssammlungen (Klassifizierungssysteme),
- Deuten des Informationsgehalts von sensorvermittelten Signalen (Interpretationssysteme),
- selbständiges Ausführen von Aufgaben in Umwelten mit nicht vollständig vorhergeplanten Umwelteinflüssen, sogenannten "stochastisch veränderlichen" Umwelten (intelligente oder autonome Roboter),
- Unterstützen menschlicher Lernprozesse (Tutorsysteme).

Diese facettenreiche Auflistung von Funktionsbereichen intelligenter Automaten läßt die Fragwürdigkeit der funktionsorientierten Konzepte zur Definition des Erkenntnisobjekts der KI-Forschung deutlich zu Tage treten.

Erstens erweisen sich die Funktionen nicht als überschneidungsfrei definiert, sondern gleichen eher einem Sammelsurium von ad hoc gebildeten Schlagworten. So läßt sich beispielsweise die Funktion des Problemlösens

- bei weiter Definition des Problembegriffs - als Umhüllende aller anderen Funktionen auffassen. Die Funktion des Theorembeweisens ist oftmals Bestandteil der Funktion der Plansynthese, da Planungstechniken der KI-Forschung oftmals auf Theorembeweisen beruhen. Der Unterschied zwischen Suchsystemen und Expertensystemen i.e.S. wird aufgehoben, sobald das Erzeugen einer Problemlösung als Suche nach einer anforderungsgerechten Problemlösung interpretiert wird; diese Sichtweise entspricht einem typischen Deutungsmuster der KI-Forschung<sup>39)</sup>. Weitere Überschneidungen ließen sich ergänzen.

Zweitens ist die Spezifität der angeführten Funktionen im Hinblick auf intelligente Automaten nicht ersichtlich. So kann z.B. die Funktion von Beratungs- oder Simulationssystemen ebenso von Automaten der konventionellen Informationsverarbeitung erfüllt werden. Es ist nicht entscheidend, welche Funktionen von intelligenten Automaten erfüllt werden, sondern in welcher Weise dies geschieht. In dieser Hinsicht erscheinen dem Verf. die leistungsbezogenen Definitionskonzepte - insbesondere in der Variante des Performanzmodus durch seine Herausstellung der deklarativen Benutzeroberfläche - und die strukturorientierten Definitionskonzepte - durch ihre Hervorhebung der expliziten Wissensdarstellung zum Zweck der Aufgabenerfüllung - als überzeugendere Ansätze zur inhaltlichen Konkretisierung des Begriffs intelligenter Automaten.

---

39) Vgl. Zelewski (1986a), S. 241ff.

### 3 Anwendungsbereiche der Künstlichen Intelligenz

#### 3.1 Rahmenlegung

Die vorangehenden Erörterungen von Konzepten zur Definition intelligenter Automaten veranschaulichten, daß zur Zeit seitens der KI-Forschung noch keine konkrete inhaltliche Füllung ihres Erkenntnisobjekts vorgelegt werden kann, die frei von Einwänden wäre oder sich als herrschende Meinung durchgesetzt hätte. Eine solche Definitionsvielfalt braucht jedoch keineswegs als wissenschaftliches Defizit betrachtet zu werden. Vielmehr eröffnet sie gerade durch ihre inhaltliche Vielschichtigkeit das Potential fruchtbarer Anstöße für die Entwicklung informationsverarbeitender Automaten, die das Leistungsspektrum konventioneller Exemplare übertreffen könnten.

Dies wird an einer groben Übersicht über die wesentlichen betriebswirtschaftlichen Anwendungsgebiete von Produkten der KI-Forschung aufzuzeigen versucht. Dabei liegt der leistungsorientierte Ansatz im Sinne des Performanzmodus der Künstlichen Intelligenz zugrunde, da er in natürlicher Weise der pragmatischen Perspektive entspricht, durch den Einsatz informationsverarbeitender Automaten betriebliche Probleme zu lösen.

Infolge der Vielfalt von Produkten, die seitens der KI-Forschung seit Beginn der sechziger Jahre hervorgebracht wurden, und wegen der Absicht, an dieser Stelle nur eine grobe Orientierung über das breite Spektrum von Applikationen intelligenter Automaten zu ermöglichen, erfolgt eine strikte Beschränkung auf Hauptanwendungsgebiete und einige wenige herausragende Exemplare bereits realisierter Automaten. Detaillierte Beschrei-

bungen können der einschlägigen Literatur entnommen werden<sup>40)</sup>.

### 3.2 Expertensysteme im Basissystem

Das Basissystem einer Unternehmung erstreckt sich auf die Produktion der Sachgüter oder Dienstleistungen, die durch das Sachzielprogramm als absatzbestimmte Produkte der Unternehmung ausgewiesen sind.

Bei der Sachgüterproduktion finden Expertensysteme in der Variante der intelligenten oder autonomen Roboter Einsatz<sup>41)</sup>. Da sich solche Roboter von ihren konventionellen Pendanten weder hinsichtlich ihrer Sensoren noch im Hinblick auf ihre Effektoren unterscheiden, erweist sich für sie nur das besondere Leistungsvermögen der Steuerungskomponente als charakteristisch. Diese Robotersteuerung stellt - trotz der ungewohnten Terminologie - ein Expertensystem dar, das auf die Funktionen der Umweltwahrnehmung und der zielgerichteten Umweltbeeinflussung unter Realzeitbedingungen spezialisiert ist.

Beiträge der KI-Forschung zur Gestaltung von intelligenten Robotern erstrecken sich in der Hauptsache auf:

40) Vgl. Nilsson (1974), S. 781ff. u. 787ff.; Lehmann (1984), S. 100ff.; Feigenbaum (1984), S. 304ff.; Iudica (1984), S. 196ff.; Rault (1984), S. 11ff.; Hennings (1985a), S. 137ff. u. 271ff.; Hennings (1985b), S. 181ff.; Hahn (1985), S. 175ff.; o.V. (1986a); Mertens (1986), S. 909ff., insbesondere S. 913ff.; Volk (1986), S. 556ff.; Kumara (1986), S. 1117ff.; Buchanan (1986), S. 33ff.; Felsen (1986); Zelewski (1986a), S. 513ff.

Weitere Informationen können mittelbar aus den Auflistungen von Instituten und Unternehmungen, die sich mit der Entwicklung von intelligenten Automaten befassen, bezogen werden. Vgl. hierzu Feigenbaum (1984), S. 310ff.; Rault (1984), S. 20; Harmon (1985), S. 268ff.; o.V. (1986b), S. 17ff.

41) Vgl. Nagel (1984), S. 16ff.; Rembold (1985), S. 763ff., 811ff., 871ff. u. 909ff.; Brady (1985), 79ff.

- das Identifizieren von Objekten in der durch Sensor-signale abgebildeten Roboterumwelt sowie das Feststellen von Objektpositionen, -bewegungen und -eigenschaften mit Hilfe der Mustererkennung, insbesondere der Bildverarbeitung;
- das selbständige Planen von Effektoroperationen in einer stochastisch veränderlichen Umwelt nach Maßgabe von deklarativ vorgegebenen Arbeitsaufgaben.

Durch Kombinieren dieser beiden Bereiche läßt sich eine Vielzahl fortschrittlicher Roboterfähigkeiten realisieren, wie z.B.:

- Erkennen und Ergreifen von Werkstücken, die in ex ante nicht vorbestimmter Reihenfolge und in nicht-fixierter Orientierung am Roboter eintreffen, zur flexiblen Erfüllung von Handhabungsaufgaben<sup>42)</sup>;
- Entgraten, Schleifen, Säubern usw. von unregelmäßig geformten Werkstücken<sup>43)</sup>;
- Bahnschweißen von Werkstücken mit nicht von vornherein genau fixierter Schweißnaht<sup>44)</sup>;
- Planen von Transportwegen zwischen Start- und Zielpunkt von nicht-spurgebundenen Transportrobotern, selbständiges Erkennen von Hindernissen im Transportweg und Ausweichen unter Anpassung des geplanten Transportwegs<sup>45)</sup>;
- selbständige Notabschaltung der Roboteroperationen, wenn etwa ein Mensch in der Nähe entdeckt wird, der von den geplanten Roboteroperationen verletzt werden könnte<sup>46)</sup>.

Unter dem Schlagwort der autonomen Roboter, bei deren Entwicklung besonderes Gewicht auf die Fähigkeit zur selbständigen Planung und Anpassung von Bewegung sowie Effektoroperationen gelegt wird, erfolgen Forschungsarbeiten für Automaten, die in Zukunft z.B. in der Meerestechnologie zur Rohstoffgewinnung<sup>47)</sup> oder in der

42) Vgl. Kuntze (1984), S. 7ff., insbesondere S. 20ff.; Horn (1984), S. 76ff.

43) Vgl. Becker (1984), S. 189ff.

44) Vgl. Niepold (1982), S. 204ff.

45) Vgl. Giralt (1984), S. 365ff.; Rembold (1984), S. 43ff.; Freyberger (1985), S. 231ff.

46) Vgl. Haass (1984), S. 132ff.

47) Vgl. Blidberg (1983), S. 149ff.

Weltraumtechnologie zur Montage von Raumstationen eingesetzt werden sollen<sup>48)</sup>.

Expertensysteme zur Unterstützung der Dienstleistungsproduktion werden in der Mehrzahl in der Gestalt von Auskunft- und Beratungssystemen entwickelt. Erste dienen nur dem benutzerfreundlichen Zugriff auf große Informationsmengen durch kooperative Benutzerschnittstellen<sup>49)</sup>. Diese helfen, durch die inhaltliche Analyse der Informationswünsche ihrer Benutzer die Suche in angeschlossenen Informationsbanken so zu steuern, daß die inhaltlich relevanten Informationen herausgefiltert und benutzerfreundlich aufbereitet werden. Im Gegensatz zu konventionellen Datenbanksystemen kommt es nicht auf die syntaktische Übereinstimmung zwischen Deskriptoren der gesuchten und gespeicherten Informationen an. Die inhaltsbezogene Informationssuche durch Expertensysteme erfordert komplexe semantische und pragmatische Sprachanalysen. Beispiele solcher Auskunftssysteme sind die Automaten HAM-ANS<sup>50)</sup> (Zugriff auf Fischerei-Informationen) und PLANES<sup>51)</sup> (Auskunft über Instandhaltung und Einsätze von Marine-Flugzeugen). Darüber hinaus wurde eine Vielzahl kooperativer Benutzerschnittstellen ohne unmittelbar angeschlossene Informationsbank entwickelt<sup>52)</sup>.

Beratungssysteme umfassen in der Regel die Funktion von Auskunftssystemen, erweitern diese jedoch um die Fähigkeit, ihre Benutzer bei der Lösung ihrer Probleme durch Unterbreiten von Lösungsvorschlägen zu unterstützen. Solche Expertensysteme wurden vor allem in den Bereichen der Finanzierungs- und Anlageberatung<sup>53)</sup>, der juristischen Beratung<sup>54)</sup> - einschließlich der Vertragsgestaltung<sup>55)</sup> - und der Versicherungsberatung<sup>56)</sup> ent-

48) Vgl. Klein (1982), S. 913ff.

49) Vgl. die Anmerkungen in Fußnote 34.

50) Vgl. Nebel (1982), S. 392ff.

51) Vgl. Waltz (1982), S. 17ff.

52) Vgl. die Übersicht bei Zelewski (1986a), S. 608ff.

53) Vgl. Davis (1976), S. 128ff. u. 150f.; Kosy (1984), S. 176ff.; Miller (1984), S. 69ff.

54) Vgl. Cook (1981), S. 689ff.

55) Vgl. Sprowl (1979), S. 1ff.

56) Vgl. Jarke (1984), S. 68ff.

wickelt. Ein aktueller Ansatz mit noch nicht endgültig festgelegtem Beratungsgebiet stellt das deutsche Verbundprojekt WISBER<sup>57)</sup> dar.

Im speziellen Dienstleistungssektor der Softwareproduktion erfolgen zahlreiche Versuche, Expertensysteme zu entwickeln, die aus der Beschreibung einer Informationsverarbeitungs-Aufgabe die zugehörigen Programme zur Aufgabenerfüllung automatisch abzuleiten vermögen. Der Ansatz, aus der Vorgabe von Programm-Input und erwünschtem -Output durch logische Deduktion das Verarbeitungsprogramm zu synthetisieren<sup>58)</sup>, erweist sich nur für begrenzte Problemstellungen als erfolgreich. Neuere Ansätze konzentrieren sich daher auf die interaktive Softwareproduktion, bei der ein Expertensystem seinen Benutzer durch Wissen über Entwurfs- und Verifizierungstechniken unterstützt<sup>59)</sup>.

### 3.3 Expertensysteme im Informationssystem

Das Informationssystem einer Unternehmung umfaßt die Erfüllung aller Gestaltungsfunktionen, welche die Realisierung von Produktionsprozessen im Basissystem gedanklich vorwegnehmen, begleiten oder nachträglich auswerten. Hinsichtlich der betroffenen Funktions-Bereiche läßt sich zwischen Unternehmungsverwaltung und -leitung unterscheiden. Im Hinblick auf die Art der erfüllten Funktionen wird zwischen der Gestaltung von Produktionspotentialen, Produktionsprozessen und Produkten differenziert.

57) Vgl. Savory (1985), S. 241ff.; o.V. (1986c), S. 27.

58) Vgl. Brown, R.H. (1981), S. 998ff.; Buchberger (1984), S. 180ff.

59) Vgl. Kant (1979), S. 457ff.; Green (1982), S. 339ff.

### 3.3.1 Unterstützung der Unternehmungsverwaltung

Im Bereich der Unternehmungsverwaltung lassen sich Expertensysteme einsetzen, um die Informationseingabe in Systeme der Informationsarchivierung und -verarbeitung zu erleichtern. Vor allem die Techniken der Bildverarbeitung dienen dazu, Dokumente automatisch einzulesen<sup>60)</sup>. Weitergehende Ansätze erlauben auch das Erkennen handschriftlicher Eingaben, etwa zum Zweck von Aktennotizen<sup>61)</sup>. Die Verarbeitung akustischer Sprachmuster soll dazu führen, mündliche Diktate unmittelbar in Schriftform zu transformieren<sup>62)</sup>.

Expertensysteme für die Informationsverarbeitung dienen im Verwaltungsbereich insbesondere der intelligenten Textverarbeitung<sup>63)</sup>. Hierzu rechnet die inhaltliche Auswertung der Eingangspost, die z.B. nach Wichtigkeit der angesprochenen Themen vorsortiert und den jeweils zuständigen Mitarbeitern zugestellt werden kann. Antwortschreiben mit standardisierten Inhalten lassen sich automatisch generieren. Bei der individualisierten Texterstellung kann ein Expertensystem - hier schwimmt jedoch die Grenze zu konventionellen Textverarbeitungssystemen erheblich - Rechtschreibkontrollen und stilistische Verbesserungsvorschläge ausführen. Die Realisierung dieser Funktionen wird z.B. mit dem Automaten EPISTLE<sup>64)</sup> angestrebt. In Verbindung mit der akustischen Spracherkennung lassen sich solche Expertensysteme auch einsetzen, um in Zeiten fehlender oder eingeschränkter Verwaltungsbereitschaft fernmündliche Anfragen an die Unternehmung inhaltlich auszuwerten und in einfachen Fällen - unterstützt von der automatischen Sprachsynthese - direkt zu beantworten<sup>65)</sup>. Im Rahmen multinationaler Unternehmungsaktivitäten gewinnen in jüngster Zeit Expertensysteme für die teil-

60) Vgl. Schürmann (1984), S. 23ff.

61) Vgl. Okada (1982), S. 898ff.; Doster (1984), S. 3ff.

62) Vgl. Andreewsky (1983), S. 13ff.; Allen (1983), S. 184ff.

63) Vgl. Balzert (1984), S. 37ff.; Schumann (1985), S. 931ff.

64) Vgl. Heidorn (1982), S. 305ff., insbesondere S. 309ff.

65) Vgl. Gershman (1981), S. 423ff.

automatische Textübersetzung von Geschäftskorrespondenz, Produktbeschreibungen, Marktanalysen u.ä. an Bedeutung<sup>66)</sup>.

### 3.3.2 Unterstützung der Unternehmungsleitung

Der Bereich der Unternehmungsleitung wird zur Zeit noch nicht in ähnlicher Dichte wie der Verwaltungsbereich von Expertensystem-Entwicklungen abgedeckt. Auch sind die Grenzen zwischen - konventionellen - entscheidungsunterstützenden Systemen und Expertensystemen für die Unternehmungsleitung oftmals verschwommen. In erster Linie handelt es sich um Expertensysteme, die in ihrer Funktion den bereits o.a. Beratungssystemen gleichen<sup>67)</sup>.

Spezielle Beiträge der KI-Forschung erfolgen im Hinblick auf die strategische Unternehmungsplanung durch Automaten, welche die Simulation von Unternehmungsstrategien und die Analyse des Verhaltens von Konkurrenten erlauben. Sie basieren auf subtilen Explorationen strategischer Spiele - wie etwa das Expertensystem EURISKO<sup>68)</sup> - bzw. auf der Analyse von Handlungszielen in Episoden, die Verhaltensweisen von Personen (Konkurrenten) beschreiben<sup>69)</sup>. Intelligente Frühwarnsysteme werden konzipiert<sup>70)</sup>, die in großvolumigen Informationssammlungen - etwa Pressearchiven - durch inhaltliche Informationsanalysen Hinweise auf mögliche Strukturbrüche in der Entwicklung der Unternehmungsumwelt aufdecken sollen. In Verbindung mit Simulationssystemen, die in ihren Wissensbasen u.a. Unternehmungsmodelle verwalten, lassen sich erwartete Konsequenzen der erkannten Entwicklungs-Diskontinuitäten aus der Sicht der betroffenen Unternehmungen abschätzen.

66) Vgl. Potzner (1985), S. 614 u. 618f.; Cordroch (1986), S. 56f.

67) Vgl. Blanning (1985), S. 153ff.

68) Vgl. Lenat (1983b), S. 73ff.

69) Vgl. Hayes (1983), S. 264ff.

70) Vgl. Clippinger (1983), S. 66f.; Lenat (1983a), S. 259ff.; Zelewski (1986b).

Unter dem Stichwort des "Büros der Zukunft"<sup>71)</sup> werden Expertensysteme entwickelt, die sowohl verwaltende als auch leitende Funktionen unterstützen sollen. Hauptanliegen ist es, mit Hilfe von kooperativen Schnittstellen eine Vielzahl von Instrumenten der automatischen Informationsverarbeitung so zu integrieren, daß sie den Mitarbeitern im Büro unter einer einheitlichen, komfortablen Benutzeroberfläche dargeboten werden. Zu den angestrebten Komfortfunktionen zählen z.B. die natürlichsprachliche Mensch-Maschine-Kommunikation und die wissensbasierte Benutzerberatung beim Gebrauch der einzelnen informationsverarbeitenden Instrumente. Ein in diese Richtung zielendes Expertensystem stellt z.B. das System Aid<sup>72)</sup> dar.

### 3.2.3 Gestaltung von Produktionspotentialen

Die Beiträge der KI-Forschung zur Gestaltung von Produktionspotentialen erstrecken sich vornehmlich auf die Personal- und die Anlagenwirtschaft. Im Bereich der Materialwirtschaft sind allenfalls einige wenige Ansätze zur Ableitung von Stücklisten aus Konstruktionszeichnungen für Stückgüter oder aus Schaltplänen für elektrotechnische Erzeugnisse zu erwähnen<sup>73)</sup>. Darüber hinaus lassen sich die o.a. Beratungssysteme einsetzen, um die Anwendung konventioneller Prognosemethoden zur Ermittlung des voraussichtlichen Materialbedarfs zu unterstützen. Hierbei kann z.B. auf die statistischen Prognosevoraussetzungen oder die Qualität der jeweils erzielbaren Prognoseergebnisse hingewiesen werden.

Im Bereich der Personalwirtschaft werden Expertensysteme für die Personaleinsatzplanung entwickelt<sup>74)</sup>. Sie können dazu herangezogen werden, in ihrer Wissensbasis die vielfachen qualitativen Restriktionen des Personaleinsatzes (etwa rechtlicher oder ausbildungsbezogener

71) Vgl. Holl (1982), S. 65ff.; Scheer (1984), S. 171ff.

72) Vgl. Hein (1984), S. 2ff.

73) Vgl. Bunke (1978), S. 126ff.

74) Vgl. Pease (1978), S. 725ff.

Art) zu verwalten. Vor allem aber steht eine große Anzahl von Tutorssystemen zur Verfügung, welche die Personalschulung unterstützen. Im Gegensatz zu konventionellen automatengestützten Lernsystemen können sich diese Expertensysteme individuell an die Lernstile, Lernziele und Wissensvoraussetzungen ihrer Benutzer anpassen. Zu diesem Zweck leiten sie jeweils aus dem Dialog mit einem Benutzer ein Benutzermodell ab und richten das zu vermittelnde Wissen an diesem Modell aus<sup>75)</sup>. Ein Beispiel für solche Tutorssysteme ist das Exemplar GUIDON<sup>76)</sup>.

Die Anlagenwirtschaft wird durch zwei umfangreiche Klassen von Expertensystemen unterstützt. Die erste erstreckt sich auf Beratungssysteme für die Konfigurierung von komplexen Anlagensystemen, wie z.B. Flexiblen Fertigungs- und Montagesystemen oder Computersystemen. Insbesondere für den letztgenannten Bereich wurde eine stattliche Anzahl von Konfigurierungssystemen - wie etwa XCON<sup>77)</sup> und SICONFEX<sup>78)</sup> - hervorgebracht.

Die zweite Klasse von Expertensystemen betrifft die Diagnose der Ursachen von Störungen in Anlagensystemen. In fortschrittlichen Varianten werden darüber hinaus auch Vorschläge zur Eindämmung von Störungsauswirkungen (Folgeschäden) und zur Beseitigung der Störungsursachen (Reparaturempfehlungen) unterbreitet. Solche Diagnosesysteme stellen z.B. der Automat DEX-C3 für die Getriebefertigung<sup>79)</sup>, ein Expertensystem zur Fehlerdiagnose von CNC-Maschinen<sup>80)</sup> und der Automat CATS/DELTA zur Wartung von dieselektrischen Lokomotiven<sup>81)</sup> dar. Hierzu lassen sich auch Expertensysteme zur Sicherung und Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft von Anlagensystemen mit hohen Gefährdungspotentialen - wie et-

75) Vgl. Ford (1984), S. 106ff.; Gunzenhäuser (1984), S. 239ff.

76) Vgl. Clancey (1984), S. 464ff.; Ford (1984), S. 115ff.

77) Vgl. Kraft (1984), S. 41ff.

78) Vgl. Lehmann (1985), S. 794ff.

79) Vgl. Klar (1985), S. 43ff.

80) Vgl. Eichhorn (1986), S. 2V-6ff.

81) Vgl. Pratt (1984), S. 40f.; Miller (1984), S. 154ff.

wa Kernkraftwerken - rechnen. Für diesen Zweck wurden die Expertensysteme NPPC<sup>82)</sup> und REACTOR<sup>83)</sup> konstruiert.

#### 3.2.4 Gestaltung von Produktionsprozessen

Die Gestaltung von Produktionsprozessen umfaßt eine räumliche, eine artbezogene und eine zeitliche Komponente. Expertensysteme für die raumbezogene Prozeßgestaltung betreffen in erster Linie die Anreicherung von CAD-Systemen für die Layout-Planung von Fabriken durch nicht-numerisches, qualitatives Wissen<sup>84)</sup>. Hierdurch kann die Realitätsferne konventioneller, rein numerischer Algorithmen für die innerbetriebliche Standortplanung erheblich abgebaut werden. Das Wissen solcher Expertensysteme umfaßt z.B. Informationen über die Fabrik-Architektur (Tragfähigkeiten von Fabrikböden, baupolizeiliche Vorschriften, Anschlüsse der Infrastruktur, wie z.B. der Stromversorgung, usw.) und über die aufzustellenden Anlagen (z.B. erforderliche Zuführvorrichtungen für den Materialtransport).

Zur Unterstützung der artbezogenen Prozeßgestaltung wurden Expertensysteme entwickelt, welche die Auswahl von unterschiedlichen Prozeßarten für die Produktion einer bestimmten Güterart unterstützen. Solche Beratungssysteme liegen z.B. für die Verfahrenswahl im Bereich von metallurgischen und Oberflächenbeschichtungsprozessen vor<sup>85)</sup>.

Im Hinblick auf die zeitliche Prozeßgestaltung dominieren Expertensysteme für die Werkstattfertigung. Sie verwalten in ihren Wissensbasen Informationen über die vorhandenen Bearbeitungsmaschinen und Transportmittel, über die einzelnen Bearbeitungsgänge, die zur Herstellung jeweils einer Produktart erforderlich sind, sowie über die technisch möglichen Zuordnungen von Bearbei-

82) Vgl. Underwood (1982, S. 302ff.

83) Vgl. Nelson (1982), S. 296ff.

84) Vgl. Eastman (1973), S. 41ff.; Fisher (1985), S. 176ff.

85) Vgl. Iudica (1984), S. 199f.; Iwata (1975), S. 782ff.

tungsgängen und -maschinen. Auf dieser Grundlage wurden Expertensysteme für die automatische Ableitung von Arbeitsplänen aus Konstruktionsunterlagen, gegebenenfalls auch für die Erzeugung der Teileprogramme zur Steuerung von NC-Bearbeitungsmaschinen, und zur Maschinenbelegungsplanung hervorgebracht<sup>86)</sup>. Zur erstgenannten Gruppe zählt der Automat GUMMEX<sup>87)</sup>, zur letztgenannten rechnen die Exemplare GARI<sup>88)</sup> und ISIS/IMS<sup>89)</sup>. Für die Fließfertigung liegt dagegen nur ein nennenswerter, zeitlich weit zurückreichender Ansatz zur Fließbandabstimmung vor<sup>90)</sup>.

Der Prozeßgestaltung gehören ferner Expertensysteme für die Qualitätssicherung an. Sie stehen in enger Beziehung zu den bereits oben erwähnten intelligenten Robotern, die ihre Umwelt mit Sensoren wahrzunehmen vermögen, und zu den Diagnosesystemen, die der Ergründung von Störungsursachen dienen. Qualitätssichernde Expertensysteme unterziehen Materialien und Produkte mit Hilfe der Muster-, insbesondere der Bildverarbeitung einer Prüfung auf Material- bzw. Produktfehler. Hierbei greifen sie auf ihr Wissen über die Eigenschaften von fehlerfreien Objekten zurück. Im Vordergrund der aktuellen Bemühungen stehen Systeme für die zerstörungsfreie Objektprüfung und die optische Produktvermessung (Genauigkeitsprüfung)<sup>91)</sup>.

Für die Verlängerung des Produktionsprozesses in die Unternehmungsumwelt - den Absatzbereich - wurden dagegen bisher keine wesentlichen Beiträge der KI-Forschung bekannt. Allenfalls lassen sich Expertensysteme zur Marktbeobachtung - wie etwa das Exemplar D&I<sup>92)</sup> - anführen.

86) Vgl. Nau (1983), S. 254 u. 256ff.

87) Vgl. Iudica (1985), S. 22ff.

88) Vgl. Descotte (1981), S. 766ff.; Descotte (1985), S. 185ff.

89) Vgl. Fox (1983), S. 97ff. u. 143ff.; Fox (1984), S. 27ff.

90) Vgl. Tonge (1963), S. 144ff.

91) Vgl. Chin (1982), S. 557ff.; Sood (1985), S. 69ff.

92) Vgl. Csimá (1983), S. 53ff.

### 3.2.5 Gestaltung von Produkten

Bei der Produktgestaltung lassen sich Expertensysteme einsetzen, um als intelligente CAD-Automaten<sup>93)</sup> den Konstruktionsprozeß zu unterstützen. Sie bringen Wissen über bereits konstruierte Komponenten ein, um Wiederholkonstruktionen zu vermeiden und Ansatzpunkte für Variantenkonstruktionen bei vorgegebener Konstruktionsaufgabe aufzuzeigen. Darüber hinaus können sie als Beratungssysteme die Anwendung komplexer Konstruktionsverfahren - wie etwa der Finite Elemente-Methode - benutzerfreundlich gestalten. Ferner läßt sich Wissen über einzuhaltende Konstruktionsnormen oder unerwünschte Konstruktionseigenschaften (z.B. Korrosionsgefährdung bestimmter Verbindungstechniken oder mangelhafte Absicherung gegenüber Erdbeben) in den Konstruktionsprozeß einbinden<sup>94)</sup>. Expertensysteme, die jeweils Teilaspekte des umrissenen Funktionsspektrums intelligenter CAD-Systeme abdecken, sind die Automaten CADHELP<sup>95)</sup> (Beratungssystem) und SACON<sup>96)</sup> (Anwendung der Finite Elemente-Methode).

Eine beachtliche Anzahl von Expertensystemen wurde für die speziellen Aufgaben der Konstruktion von elektronischen Bauelementen<sup>97)</sup> - insbesondere VLSI-Schaltkreisen - und des Entwurfs chemischer Verbindungen<sup>98)</sup> hervorgebracht. In jüngster Zeit werden auch Expertensysteme für die kundenspezifische Gestaltung komplexer Stückgüter diskutiert<sup>99)</sup>, die auf dem - bereits o.a. - Konzept der Konfigurierung von (Computer-)Systemen beruhen.

93) Vgl. Brown, D.C. (1983), S. 173ff.; Pegels (1984), S. 144ff.

94) Vgl. Ishizuka (1983), S. 99ff.

95) Vgl. Cullingford (1982), S. 168ff.

96) Vgl. Bennett (1979), S. 47ff.

97) Vgl. Lenat (1983b), S. 88ff.; Schindler (1984), S. 132ff.; Blondin (1984), S. 143ff.

98) Vgl. Gelernter (1977), S. 1041ff.; Wipke (1984), S. 71ff.; Miller (1984), S. 174ff.

99) Vgl. Böhm (1986), S. 111ff.; ansatzweise auch Mertens (1986), S. 916.

Literaturverzeichnis

- Allen, R.B.: Composition and editing of spoken letters, in: International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 19 (1983), S. 181-193.
- Andreewsky, M., C. Fluhr, J.S. Lienard, J. Mariani u. F. Poirier: Reconnaissance pour la dictee automatique de la parole continue, in: T.A. informations - Revue internationale du traitement automatique du langage, Vol. 24 (1983), N. 2, S. 12-23.
- Balzert, H. u. K. Fritsch: Integrierte Bürosysteme - Stand und Entwicklungstendenzen, in: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Integrierte Bürosysteme - Zukunftssichere Strategien und erfolgreiche Anwendungen, 3. IAO-Arbeitstagung, 27.-28.11.1984 in Stuttgart, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1984, S. 27-46.
- Becker, P.-J.: Aufgabenspezifische Probleme und Lösungen beim Einsatz eines Industrieroboters zum Bearbeiten komplexer Gußstahl-Oberflächen, in: Becker, P.-J. (Hrsg.): Sehr fortgeschrittene Handhabungssysteme - Ergebnisse und Anwendungen, Fachberichte Messen - Steuern - Regeln 9, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1984, S. 185-196.
- Bennett, J.S. u. R.S. Engelmores: SACON: A Knowledge-Based Consultant for Structural Analysis, in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, Vol. 1, o.O. (Stanford) 1979, S. 47-49.
- Beste, D.: Künstliche Intelligenz und biologische Kybernetik - Das Gehirn im technischen Modell - Tübinger Max-Planck-Institut erprobt assoziativen Speicher, in: VDI nachrichten, 40. Jg. (1986), Nr. 5, S. 17.
- Blanning, R.W.: Expert systems for management: Research and applications, in: Journal of Information Science, Vol. 9 (1985), S. 153-163.
- Blidberg, D.R., A.S. Westnest u. R.W. Corell: Expert Systems, A Tool for Autonomous Underwater Vehicles, in: o.V.: Proceedings Trends & Applications 1983 - Automating Intelligent Behavior - Applications and Frontiers, Silver Spring 1983, S. 149-153.
- Blondin, K. u. M. Nett: VLSI-Entwurfssystem (VENUS), in: Ehrich, H.-D. (Hrsg.): GI - 14. Jahrestagung, Proceedings, 2.-4.10.1984 in Braunschweig, Informatik-Fachberichte 88, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1984, S. 143-159.
- Bobrow, D.G., S. Mittal u. M.J. Stefik: Expert Systems: Perils and Promise, in: Communications of the ACM, Vol. 29 (1986), S. 880-894.
- Böhm, E.: Konfiguration komplexer Endprodukte mit Expertensystemen, in: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, 35. Jg. (1986), S. 107-113.
- Born, A.: KI - Komplexe Informationsverarbeitung: Mit Zauberwort auf Kundenfang, in: online, Jg. 1986, Heft 3, S. 26-32.
- Brady, M.: Artificial Intelligence and Robotics, in: Artificial Intelligence, Vol. 26 (1985), S. 79-121.

Brown, D.C. u. B. Chandrasekaran: An Approach to Expert Systems for Mechanical Design, in: o.V.: Proceedings Trends & Applications 1983 - Automating Intelligent Behavior - Applications and Frontiers, Silver Spring 1983, S. 173-180.

Brown, R.H.: Automatic Synthesis of Numerical Computer Programs, in: Drinan, A. (Hrsg.): Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-81, 24.-28.08.1981 in Vancouver, Vol. 1, o.O. (Menlo Park) 1981, S. 998-1003.

Bruderer, H.E.: Simulation von Entscheidungsprozessen - Künstliche Intelligenz, Bericht am Institut für linguistische Datenverarbeitung, Münsingen 1978.

Buchanan, B.G.: Expert systems: working systems and the research literature, in: Expert Systems, Vol. 3 (1986), S. 32-51.

Buchberger, B.: Automatisches Programmieren, in: Retti, J., W. Bibel, B. Buchberger, E. Buchberger, W. Horn, A. Kobsa, I. Steinacker, R. Trappl u. H. Trost: Artificial Intelligence - Eine Einführung, Stuttgart 1984, S. 169-197.

Bungers, D. u. F. di Primio: Funktionsschema für Expertensysteme, in: Bungers, D., F. di Primio, W. Klar u. E. Rome: Konzept einer Expertensystem-Architektur, Arbeitspapier Nr. 91 der Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH/Bonn, Sankt Augustin 1984, S. 3-12.

Bunke, H.: Analyse elektrischer Schaltpläne mit einfachen Schaltsymbolen, in: Triendl, E. (Hrsg.): Bildverarbeitung und Mustererkennung, DAGM Symposium, 11.-13.10.1978 in Oberpfaffenhofen, Informatik-Fachberichte 17, Berlin - Heidelberg - New York 1978, S. 126-132.

Chandrasekaran, B. u. S. Mittala: Deep versus compiled knowledge approaches to diagnostic problem-solving, in: International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 19 (1983), S. 425-436.

Chin, R.T. u. C.A. Harlow: Automated Visual Inspection: A Survey, in: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-4 (1982), S. 557-573.

Clancey, W.J.: Use of MYCIN's Rules for Tutoring, in: Buchanan, B.G. u. E.H. Shortliffe (Hrsg.): Rule-Based Expert Systems - The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project, Reading - Menlo Park - ... - Don Mills - Sydney 1984, S. 464-489.

Clippinger, J.H.: An Artificial Intelligence System for the Realtime Monitoring and Analysis of Textual Information, in: o.V.: Proceedings Trends & Applications 1983 - Automating Intelligent Behavior - Applications and Frontiers, Silver Spring 1983, S. 65-67.

Cook, S., C.D. Hafner, L.T. McCarty, J.A. Meldman, M. Peterson, J.A. Sprowl, N.S. Sridharan u. D.A. Waterman: The applications of artificial intelligence to law: A survey of six current projects, in: Orden, A. (Hrsg.): 1981 National Computer Conference, 4.-7.05.1981 in Chicago, AFIPS Conference Proceedings, Vol. 50, Arlington 1981, S. 689-696.

Cordroch, C.: Übersetzung per Rechner blüht im Verborgenen, in: online, Jg. 1986, Heft 1, S. 56-57.

Csima, F. u. W.-F. Riekert: D&I - Ein computerunterstütztes System zum Wissenserwerb, in: Office Management, Jg. 1983, Heft April, S. 53-55.

Cullingford, R.E., M.W. Krueger, M. Selfridge u. M.A. Bienkowski: Automated Explanations as a Component of a Computer-Aided Design System, in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-12 (1982), S. 168-181.

Davis, R.: Applications of Meta Level Knowledge to the Construction, Maintenance and Use of Large Knowledge Bases, Dissertation und Memo AIM-283 am Artificial Intelligence Laboratory / Report No. STAN-CS-76-552 am Computer Science Department of the Stanford University, Stanford 1976.

Descotte, Y. u. J.-C. Latombe: GARI: A Problem Solver That Plans How to Machine Mechanical Parts, in: Drinan, A. (Hrsg.): Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-81, 24.-28.08.1981 in Vancouver, Vol. 1, o.O. (Menlo Park) 1981, S. 766-772.

Descotte, Y. u. J.-C. Latombe: Making Compromises among Antagonist Constraints in a Planner, in: Artificial Intelligence, Vol. 27 (1985), S. 183-217.

Doster, W. u. R. Oed: Textbearbeitung auf Personal Computern mit handschriftlicher Dateneingabe, in: Notizen zu Interaktiven Systemen, Fachgruppe Interaktive Systeme der Gesellschaft für Informatik (GI), Heft 12 vom März 1984, S. 3-13.

Eastman, C.M.: Automated Space Planning, in: Artificial Intelligence, Vol. 4 (1973), S. 41-64.

Eichhorn, R.: Ein Expertensystem zur Fehlerdiagnose an CNC-Maschinen, in: o.V. (ONLINE GmbH): KOMMTECH'86, 3. Internationale Kongreßmesse für Technische Automation, Essen 13.-16.05.1986, Kongreß VI: KI/Künstliche Intelligenz und Expertensysteme, Software-Engineering und PC-Anwendungstechnik, Velbert 1986, S. 2V-1 - 2V-20.

Feigenbaum, E.A. u. H.A. Simon: Elementary Perceiver and Memorizer: Review of Experiments; in: Hoggatt, A.C. u. F.E. Balderston (Hrsg.): Symposium on Simulation Models: Methodology and Applications to the Behavioral Sciences, Cincinnati - Chicago - New Rochelle - Dallas - Burlingame 1963, S. 101-110.

Feigenbaum, E.A.: Expert Systems: Looking Back and Looking Ahead, in: Wilhelm, R. (Hrsg.): GI - 10. Jahrestagung, 30.09.-2.10.1980 in Saarbrücken, Informatik-Fachberichte 33, Berlin - Heidelberg - New York 1980, S. 1-14.

Feigenbaum, E.A. u. P. McCorduck: Die Fünfte Computer-Generation - Künstliche Intelligenz und die Herausforderung Japans an die Welt, Basel - Boston - Stuttgart 1984.

Felsen, J.: Your Intelligent Computer Assistant - How You Can Profit From Artificial Intelligence - In Your Business, Home, And Investing, Bericht der Man-Computer Systems, Inc., Jamaica (New York) 1986.

Fisher, E.L.: Logic-Based Factory Design, in: o.V.: 1985 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 25.-28.03.1985 in St. Louis, Silver Spring 1985, S. 176-181.

Ford, L.: Intelligent computer aided instruction, in: Yazdani, M. u. A. Narayanan (Hrsg.): Artificial intelligence: human effects, New York - Chichester - Brisbane - Toronto 1984, S. 106-126.

Fox, M.S.: Constrained-Directed Search: A Case Study of Job Shop Scheduling, Dissertation am Robotics Institute of the Carnegie-Mellon University, Pittsburgh 1983.

Fox, M.S. u. S.F. Smith: ISIS - a knowledge-based system for factory scheduling, in: Expert Systems, Vol. 1 (1984), No. 1, S. 25-49.

Freyberger, F., P. Kampmann, G. Karl u. G. Schmidt: "Microbe" - ein autonomes mobiles Robotersystem, in: VDI-Zeitschrift, Bd. 127 (1985), S. 231-236.

Gelernter, H.L., A.F. Sanders, D.L. Larsen, K.K. Agarwal, R.H. Boivie, G.A. Spritzer u. J.E. Searleman: Empirical Exploration of SYNCHEM - The methods of artificial intelligence are applied to the problem of organic synthesis route discovery., in: Science, Vol. 197 (1977), S. 1041-1049.

Gershman, A.: Figuring Out What the User Wants - Steps Toward an Automatic Yellow Pages Assistant, in: Drinan, A. (Hrsg.): Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-81, 24.-28.08.1981 in Vancouver, Vol. 1, o.O. (Menlo Park) 1981, S. 423-425.

Giralt, G.: Mobile Robots, in: Brady, M., L.A. Gerhardt u. H.F. Davidson (Hrsg.): Robotics and Artificial Intelligence, NATO ASI Series F: Computer and Systems Sciences, Vol. 11, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1984, S. 365-393.

Green, C. u. S.J. Westfold: Knowledge-Based Programming Self-Applied, in: Hayes, J.E., D. Michie u. Y.-H. Pao (Hrsg.): Machine Intelligence 10: Intelligent Systems - Practice and Perspective, New York - Chichester - Brisbane - Toronto 1982, S. 339-359.

Gunzenhäuser, R.: Lernen als Dimension der Mensch-Maschine Kommunikation, in: Schauer, H. u. M.J. Tauber (Hrsg.): Psychologie der Computerbenutzung, Wien - München 1984, S. 226-252.

Haass, U.L.: Arbeitsraumüberwachung beim Industrieroboter durch automatische Bildverarbeitung, in: Becker, P.-J. (Hrsg.): Sehr fortgeschrittene Handhabungssysteme - Ergebnisse und Anwendungen, Fachberichte Messen - Steuern - Regeln 9, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1984, S. 130-145.

Hahn, U.: Intelligente Informationssysteme, Bericht CURR-6/85 an der Universität Konstanz, Konstanz 1985.

Harmon, P. u. D. King: Expert Systems - Artificial Intelligence in Business, New York - Chichester - Brisbane - Toronto - Singapore 1985.

Hart, P.E.: Directions for AI in the Eighties, in: SIGART Newsletter, No. 79 (1982), S. 11-16.

Hayes, P.J. u. D.R. Reddy: Steps toward graceful interaction in spoken and written man-machine communication, in: International Journal on Man-Machine Studies, Vol. 19 (1983), S. 231-284.

Hayes-Roth, F., D.A. Waterman u. D.B. Lenat: An Overview of Expert Systems, in: Hayes-Roth, F., D.A. Waterman and D.B. Lenat (Hrsg.): Building Expert Systems, Teknowledge Series in Knowledge Engineering Vol. 1, Reading - London - Amsterdam - Don Mills - Sydney - Tokyo 1983, S. 3-29.

Heidorn, G.E., K. Jensen, L.A. Miller, R.J. Byrd u. M.S. Chodorow: The EPISTLE text-critiquing system, in: IBM Systems Journal, Vol. 21 (1982), S. 305-327.

Hein, H.-W., S.R. Smith u. C.G. Thomas: AiD: AiD improves Dialogs - A Better Approach to the Design of Man-Machine Dialogs through Knowledge-Based Techniques, Bericht der Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH/Bonn, Sankt Augustin 1984.

Hennings, R.-D.: EXPERTENSYSTEME: Grundlagen, Entwicklung, Anwendungen, Trends, in: Hennings, R.-D. u. H. Munter: Artificial Intelligence - 1. Expertensysteme, Berlin 1985, S. 13-310 (a).

Hennings, R.-D.: Expertensysteme für industrielle Nutzung, in: Nachrichten für Dokumentation, 36. Jg. (1985), S. 179-189 (b).

Holl, F.-L. u. H. Peschke: Büro 2000 - Ein betriebliches Kommunikationssystem, in: Pfeiffer, R. u. H. Lindner (Hrsg.): Systemtheorie und Kybernetik in Wirtschaft und Verwaltung, Beiträge zur Tagung der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialkybernetik 1981, 16.-17.10.1981 in Reutlingen, Berlin 1982, S. 58-74.

Horn, B.K.P. u. K. Ikeuchi: Die automatische Handhabung regellos orientierter Teile, in: Spektrum der Wissenschaft, Jg. 1984, Heft 10, S. 76-90.

Ishizuka, M., K.S. Fu u. J.T.P. Yao: Rule Based Damage Assessment System for Existing Structures, in: Solid Machines Archives, Vol. 8 (1983), S. 99-118.

Iudica, N.R.: Knowledge-based systems in industrial planning and design tasks, an overview, in: Langendörfer, H. (Hrsg.): GI'84 - Beiträge zum Industrieprogramm, anlässlich der 14. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, 2.-4.10.1984 in Braunschweig, o.O. (Braunschweig) 1984, S. 191-217.

Iudica, N.R.: GUMMEX - ein Expertensystem zur Generierung von Arbeitsplänen für die Fertigung, in: Nachrichten für Dokumentation, 36. Jg. (1985), S. 22-27.

Iwata, S., S. Ishino u. Y. Mishima: Heuristics in the Alloy Designing, in: o.V.: Advance Papers of the Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-75), 3.-8.09.1975 in Tbilisi, Vol. 2, o.O. (Cambridge/Massachusetts) 1975, S. 782-788.

Jarke, M. u. Y. Vassiliou: Coupling Expert Systems With Database Management Systems, in: Reitman, W. (Hrsg.): Artificial Intelligence Applications For Business, Proceedings of the NYU Symposium, 18.-20.05.1983 in New York, Norwood 1984, S. 65-85.

Kant, E.: A Knowledge-Based Approach to Using Efficiency Estimation in Program Synthesis, in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, Vol. 1, o.O. (Stanford) 1979, S. 457-462.

Klar, W. u. K.-H. Wittur: (Ein) Expertensystem zur Fehlerdiagnose im automatischen Getriebe C3 von Ford, Sonderdruck aus dem Jahresbericht 1984 der Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH/Bonn, S. 43-50, o.O. (Sankt Augustin) o.J. (1985).

Klein, C.A. u. M.R. Patterson: Computer Coordination of Limb Motion for Locomotion of a Multiple-Armed Robot for Space Assembly, in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-12 (1982), S. 913-919.

Kopec, D. u. M. Newborn: ACM's Sixteenth North American Computer Chess Championship, in: Communications of the ACM, Vol. 29 (1986), S. 687-691.

Kosy, D.W. u. B.P. Wise: Self-Explanatory Financial Planning Models, in: o.V.: Proceedings of the Fourth Annual National Conference on Artificial Intelligence, AAAI-84, Menlo Park 1984, S. 176-181.

Kraft, A.: XCON. An Expert Configuration System at Digital Equipment Corporation, in: Winston, P.H. u. K.A. Prendergast (Hrsg.): The AI Business, Cambridge (Massachusetts) - London 1984, S. 41-49.

Kumara, S.R.T., S. Joshi, R.L. Kashyap, C.L. Moodie u. T.C. Chang: Expert systems in industrial engineering, in: International Journal of Production Research, Vol. 24 (1986), S. 1107-1125.

Kuntze, H.-B. u. W. Patzelt: Einsatz regelungstechnischer Verfahren für typische Roboteranwendungen, in: Becker, P.-J. (Hrsg.): Sehr fortgeschrittene Handhabungssysteme - Ergebnisse und Anwendungen, Fachberichte Messen - Steuern - Regeln 9, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1984, S. 7-31.

Lehmann, E.: Expertensysteme - Überblick über den aktuellen Entwicklungsstand (1983), Bericht am Zentralbereich Technik (ZTI INF 131) der Siemens AG, München 1984.

Lehmann, E., R. Enders, H. Haugeneder, C. Johnson, L. Schmid u. P. Struß: SICONFEX - ein Expertensystem für die Konfigurierung eines Betriebssystems, in: Hansen, H.R. (Hrsg.): GI/OCG/ÖGI-Jahrestagung 1985, Wirtschaftsuniversität Wien, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1985, S. 792-805.

Lenat, D.B., A. Clarkson u. G. Kiremidjian: An Expert System for Indications & Warning Analysis, in: Bundy, A. (Hrsg.): IJCAI-83, Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 8.-12.08.1983 in Karlsruhe, Vol. 1, o.O. (Los Altos) 1983, S. 259-262 (a).

- Lenat, D.B.: EURISKO: A program That Learns New Heuristics and Domain Concepts - The Nature of Heuristics III: Program Design and Results, in: Pearl, J. (Hrsg.): Search and Heuristics, Reprinted from the Journal of Artificial Intelligence, Volume 21, Numbers 1,2, Amsterdam - New York - Oxford 1983, S. 61-98 (b).
- Levitt, R.E. u. J.C. Kunz: Using Knowledge Of Construction And Project Management For Automated Schedule Updating, in: Project Management Journal, Vol. 1985, No. December, S. 57-76.
- Mertens, P. u. K. Allgeyer: Künstliche Intelligenz in der Betriebswirtschaft, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 53. Jg. (1983), S. 686-709.
- Mertens, P., K. Allgeyer u. H. Däs: Betriebliche Expertensysteme in deutschsprachigen Ländern, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 56. Jg. (1986), S. 905-941.
- Miller, R.K.: Artificial Intelligence: A New Tool for Industry and Business, Vol. 1: Technology and Applications, Fort Lee 1984.
- Minsky, M.: A Framework for Representing Knowledge, in: Winston, P.H. (Hrsg.): The Psychology of Computer Vision, New York - St. Louis - ... - Tokyo - Toronto 1975, S. 211-277.
- Nagel, R.N.: State of the Art and Prediction for Artificial Intelligence and Robotics, in: Brady, M., L.A. Gerhardt u. H.F. Davidson (Hrsg.): Robotics and Artificial Intelligence, NATO ASI Series F: Computer and System Sciences, Vol. 11, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo (1984), S. 3-45.
- Nau, D.S. u. T.-C. Chang: Prospects for Process Selection Using Artificial Intelligence, in: Computers in Industry, Vol. 4 (1983), S. 253-263.
- Nebel, B. u. H. Marburger: Das natürlichsprachliche System HAM-ANS: Intelligenter Zugriff auf heterogene Wissens- und Datenbasen, in: Nehmer, J. (Hrsg.): GI - 12. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, 5.-7. 10. 1982 in Kaiserslautern, Proceedings, Informatik-Fachberichte 57, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 392-402.
- Nelson, W.R.: REACTOR: An Expert System for Diagnosis and Treatment of Nuclear Reactor Accidents, in: Proceedings of the Second Annual National Conference on Artificial Intelligence, AAAI-82, 18.-20.08.1982 in Pittsburgh, Menlo Park 1982, S. 296-301.
- Newell, A. u. H.A. Simon: Computer Science as Empirical Enquiring: Symbols and Search, in: Haugeland, J. (Hrsg.): Mind Design - Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence, 2. Druck der 1. Aufl., Cambridge - London 1982, S. 35-66.
- Niepold, R. u. F. Brümmer: Optical Sensor System Controls Arc Welding Process, in: o.V. Proceedings of the 2nd International Conference on Robot Vision and Sensory Controls, 2.-4.11.1982 in Stuttgart, Kempston - Bedford 1982, S. 201-212.

Nilsson, N.J.: Artificial Intelligence, in: Rosenfeld, J. L. (Hrsg.): Information Processing 74, Proceedings of the IFIP Congress 74, 5.-10.08.1974 in Stockholm, Amsterdam - London - New York 1974, S. 778-801.

Okada, T., H. Arakawa u. I. Masuda: On-Line Recognition of Handwritten Characters by Approximating Each Stroke with Several Points, in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-12 (1982), S. 898-903.

o.V. (Computer Resources International): The CRI Directory of Expert Systems, Abingdon 1986 (a).

o.V. (Artificial Intelligence Software S.R.L.): The International Directory of Artificial Intelligence Companies, 2. Aufl., Rovigo 1986 (b).

o.V.: Verbundprojekt WISBER, in: Rundbrief des Fachausschusses 1.2 Künstliche Intelligenz & Mustererkennung in der Gesellschaft für Informatik, Nr. 41 (1986), S. 27 (c).

Pease III, M.C.: ACS.1: An Experimental Automated Command Support System, in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-8 (1978), S. 725-735.

Pegels, G.: Erfahrungen mit künstlicher Intelligenz - Fachwissen im CAD/CAM-System für den Stahl-, Holz- und Anlagenbau, in: o.V. (VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb): Datenverarbeitung in der Konstruktion '85, Entwicklungsstand und Anwendererfahrungen, 30-31.10.1985 in München, VDI Berichte 570.1, Düsseldorf 1985.

Potzner, R., R. Matschke u. P. Mertens: Ein Experiment zur Verwendbarkeit computergestützter Fremdsprachenübersetzung im Betrieb, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 55. Jg. (1985), S. 613-631.

Pratt, C.A.: An artificially intelligent locomotive mechanic, in: Simulation, Vol. 42 (1984), No. 1, S. 40-41.

Puppe, F.: Expertensysteme, in: Informatik-Spektrum, Bd. 9 (1986), S. 1-13.

Raulefs, P.: Expertensysteme, in: Bibel, W. u. J.H. Siekmann (Hrsg.): Künstliche Intelligenz, Frühjahrsschule Teisendorf, 15.-24.03.1982 in Teisendorf, Informatik-Fachberichte 59, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 61-98.

Raulefs, P.: Foundation of Expert Systems for Conceptual Design in Mechanical Engineering, Memo SEKI-84-08 am Fachbereich Informatik der Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern 1984.

Raulefs, P.: Knowledge Processing Expert Systems, in: Bernold, T. u. G. Albers (Hrsg.): Artificial Intelligence: Towards Practical Application, Proceedings of the Joint Technology Assessment Conference of the Gottlieb Duttweiler Institute and the European Committee for Artificial Intelligence, 12.-13.04.1984 in Rüschiikon, Amsterdam - New York - Oxford 1985, S. 21-31.

Rault, J.-C.: les systemes experts: perspectives industrielles, in: Bulletin de liaison de la recherche en informatique et automatique, No. 97 (1984), S. 9-23.

- Rembold, U. u. P. Levi: Entwicklungstendenzen bei der Robotertechnologie, Preprint am Institut für Informatik III der Universität Karlsruhe, Karlsruhe o.J. (1984).
- Rembold, U., C. Blume, R. Dillmann u. P. Levi: Intelligente Roboter, in: VDI-Zeitschrift, Bd. 127 (1985), S. 763-767 (Teil 1), 811-817 (Teil 2), 871-876 (Teil 3), 909-918 (Teil 4).
- Rosenblatt, F.: Perceptrons and Cognitive Science, in: Billing, H. (Hrsg.): Lernende Automaten - Bericht über die Fachtagung der Nachrichtentechnischen Gesellschaft im VDE (NTG), Fachausschuß 6 "Informationsverarbeitung", 13.-14.04.1961 in Karlsruhe, München 1961, S. 225-239.
- Savory, S.E. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz und Expertensysteme - Ein Forschungsbericht der Nixdorf Computer AG, 2. Aufl., München 1985.
- Scheer, A.-W.: EDV-orientierte Betriebswirtschaftslehre, Berlin - Heidelberg - New York 1984.
- Schindler, M.: Artificial intelligence begins to pay off with expert systems for engineering, in: Electronic Design, Ausgabe vom 9.08.1984, S. 106-144.
- Schmitz, P. u. A. Lenz: Abgrenzung von Expertensystemen und konventioneller ADV, in: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, 38. Jg. (1986), S. 499-516.
- Schnupp, P. u. U. Leibbrandt: Expertensysteme - Nicht nur für Informatiker, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1986.
- Schürmann, J.: Schriftzeichenerkennung und maschinelles Lesen, in: Heilmann, H., W. Bauer, R. Bischoff, R.M. Katzsch, H. Kernler u. H. Nielinger (Hrsg.): HMD - Handbuch der Modernen Datenverarbeitung, 21. Jg., Heft 115, Stand: Januar 1984, S. 23-41.
- Schumann, M.: Möglichkeiten und Grenzen einer computer-gestützten Eingangspostbearbeitung, in: Hansen, H.R. (Hrsg.): GI/OCG/ÖGI-Jahrestagung 1985, Wirtschaftsuniversität Wien, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1985, S. 926-942.
- Siekman, J.H.: Einführung in die künstliche Intelligenz, in: Bibel, W. u. J.H. Siekman (Hrsg.): Künstliche Intelligenz, Frühjahrsschule Teisendorf, 15.-24.03.1982 in Teisendorf, Informatik-Fachberichte 59, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 1-60.
- Sood, S.C.: Expert Knowledge based real time inspection system, in: McKeown, o.Vn.: Proceedings of the 7th International Conference on Automated Inspection and Product Control, 26.-28.03.1985 in Birmingham, Bedford 1985, S. 69-74.
- Sprowl, J.A.: Automating the Legal Reasoning Process: A Computer That Uses Regulations and Statues to Draft Legal Documents, in: American Bar Foundation Research Journal, Vol. 1979, S. 1-81.
- Steels, L. u. W. van de Velde: Learning in Second Generation Expert Systems, in: Kowalik, J.S. (Hrsg.): Knowledge Based Problem Solving, Englewood Cliffs 1986, S. 270-295.

Stefik, M., J. Aikins, R. Balzer, J. Benoit, L. Birnbaum, F. Hayes-Roth u. E. Sacerdoti: The Organization of Expert Systems, A Tutorial, in: Artificial Intelligence, Vol. 18 (1982), S. 135-173.

Tonge, F.: Balancing Assembly Lines Using the General Problem Solver, in: Hoggatt, A.C. u. F.E. Balderston (Hrsg.): Symposium on Simulation Models: Methodology and Applications to the Behavioral Sciences, Cincinnati - Chichester - New Rochelle - Dallas - Burlingame 1963, S. 139-151.

Turing, A.M.: Computing Machinery and Intelligence, in: Mind, Vol. 59 (1950), S. 433-460.

Underwood, W.E.: A CSA Model-Based Nuclear Power Plant Consultant, in: o.V.: Proceedings of the Second Annual National Conference on Artificial Intelligence, AAAI-82, 18.-20.08.1982 in Pittsburgh, Menlo Park 1982, S. 302-305.

Volk, K.O.: Expertensysteme für den betrieblichen Einsatz - Ansätze und Probleme, in: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, 38. Jg. (1986), S. 550-564.

Wahlster, W.: Cooperative Access Systems, in: Fifth Generation Computer Systems, Vol. 1 (1984), S. 103-111.

Waltz, D.L.: The State of the Art in Natural-Language Understanding, in: Lehnert, W.G. u. M.H. Ringle (Hrsg.): Strategies for Natural Language Processing, Hillsdale - London 1982, S. 3-35.

Warnecke, G. u. P. Mertens: Praktische Anwendung künstlicher Intelligenz durch Expertensysteme, in: Werkstattstechnik - Zeitschrift für industrielle Fertigung, 76. Jg. (1986), S. 547-551.

Weizenbaum, J.: Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft, 3. Aufl., Frankfurt 1982.

Wipke, W.T. u. D. Rogers: Artificial Intelligence in Organic Synthesis. SST: Starting Material Selection Strategies. An Application of Superstructure Search, in: Journal of Chemical Information and Computer Sciences, Vol. 24 (1984), No. 2, S. 71-81.

Zelewski, S.: Das Leistungspotential der Künstlichen Intelligenz - eine informationstechnisch-betriebswirtschaftliche Analyse, Dissertation am Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Fertigungswirtschaft der Universität Köln 1985, Witterschlick/Bonn 1986 (a).

Zelewski, S.: Einsatzmöglichkeiten der Künstlichen Intelligenz zur Fortentwicklung von Frühwarnsystemen, Arbeitsbericht 4/1986 am Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft der Universität Köln, Köln 1986 (b).

Verzeichnis der Arbeitsberichte des  
Seminars für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre,  
Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft der  
Universität zu Köln

(bis Sommer 1986: Seminar für Allgemeine  
Betriebswirtschaftslehre und Fertigungswirtschaft)

---

- Nr. 1: ZELEWSKI,STEPHAN: Entscheidungsmodelle zur Verschrottung von Fertigungshilfsmitteln, Köln 1984.
- Nr. 2: KERN,WERNER; ZELEWSKI,STEPHAN: Ein Zuordnungsmodell für Meßgeräte in Energie-Informationssystemen, Köln 1985.
- Nr. 3: KERN,WERNER; PETERS,ULRICH: Energiebewirtschaftung in industriellen Betrieben - Bericht über eine Befragung, Köln 1985.
- Nr. 4: BOOS,JOCHEN: Lokalisierung von Meßstellen für ein Informations-System zur Energiebewirtschaftung in industriellen Betrieben - Entwicklung eines OR-Modells mit einem Lösungsvorschlag -, Köln 1986.
- Nr. 5: ZELEWSKI,STEPHAN: Ansätze der Künstlichen Intelligenz-Forschung zur Unterstützung der Netzplantechnik, Köln 1986.
- Nr. 6: ZELEWSKI,STEPHAN: Schnittstellen bei betrieblichen Informationssystemen - eine Darstellung aus systemtheoretischer und betriebswirtschaftlicher Sicht -, Köln 1986.
- Nr. 7: ZELEWSKI,STEPHAN: Konzepte für Frühwarnsysteme und Möglichkeiten zu ihrer Fortentwicklung durch Beiträge der Künstlichen Intelligenz, Köln 1986.
- Nr. 8: ZELEWSKI,STEPHAN: Das Konzept der unscharfen Mengen unter besonderer Berücksichtigung ihrer linguistischen Interpretation - eine Lösung für unscharfe Probleme? -, Köln 1986.
- Nr. 9: ZELEWSKI,STEPHAN: Der tau-Wert: Aspekte eines neueren spieltheoretischen Ansatzes zur fairen Preisbildung aus kostenrechnerischer Perspektive, Köln 1986.
- Nr. 10: ZELEWSKI,STEPHAN: Competitive Bidding aus der Sicht des Ausschreibers - ein spieltheoretischer Ansatz -, Köln 1986.
- Nr. 11: ZELEWSKI,STEPHAN: Netztheoretische Ansätze zur Konstruktion und Auswertung von logisch fundierten Problembeschreibungen, Köln 1986.

- Nr. 12: ZELEWSKI,STEPHAN: Netztheoretische Fundierung von parallelen Algorithmen für die Lösung linear-ganzzahliger OR-Modelle, Köln 1986.
- Nr. 13: ZELEWSKI,STEPHAN: Intelligente Informationssysteme - benutzerfreundliche Instrumente für die Informationsvermittlung? -, Köln 1986.
- Nr. 14: ZELEWSKI,STEPHAN: Komplexitätstheorie - ihr Beitrag zur Klassifizierung und Beurteilung von Problemen des Operations Research -, Köln 1986.
- Nr. 15: ZELEWSKI,STEPHAN: Der Informationsbroker, Köln 1986.
- Nr. 16: ZELEWSKI,STEPHAN: Soziale Verantwortbarkeit von Technologien, Köln 1986.
- Nr. 17: ZELEWSKI,STEPHAN: Expertensysteme - Übersicht über Konzeptionen und betriebswirtschaftliche Anwendungsmöglichkeiten -, Köln 1986.
- Nr. 18: ZELEWSKI,STEPHAN: Das Leistungspotential der Künstlichen Intelligenz für Industrieanwendungen - Ein Überblick -, Köln 1987.
- Nr. 19: ZELEWSKI,STEPHAN: Expertensysteme im "Büro der Zukunft" - Ein Überblick über Anwendungsperspektiven und Bewertungsaspekte -, Köln 1987.
- Nr. 20: KUMMER,SEBASTIAN: Computerunterstützung schöpferischer Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, Köln 1987.
- Nr. 21: ZELEWSKI,STEPHAN: Betriebswirtschaftliche Aspekte des industriellen Einsatzes von Expertensystemen - Anwendungsmöglichkeiten und Bewertung -, Köln 1988.
- Nr. 22: ZELEWSKI,STEPHAN: Expertensysteme für Prozeßplanung und -steuerung in der Fabrik der Zukunft - Ein Überblick über Konzepte und erste Prototypen -, Köln 1988.
- Nr. 23: ZELEWSKI,STEPHAN: Expertensysteme zur Sicherung der Betriebsbereitschaft in der Fabrik der Zukunft, Köln 1988.
- Nr. 24: ZELEWSKI,STEPHAN: Ansätze zur Bewertung des Einsatzes Künstlicher Intelligenz in Industrieunternehmen - aus produktiver und sozialer Sicht -, Köln 1988.