

# Expertensysteme - und ihre mögliche Anwendung im Bauwesen

Autor(en): **Schregenerberger, Johann W. / Kargl, Benedikt**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **106 (1988)**

Heft 21

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85734>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Expertensysteme - und ihre mögliche Anwendung im Bauwesen

**Wie sollen die rasch anwachsenden Computermittel zum Lösen der Führungsprobleme im Bauwesen optimal eingesetzt werden, und wohin soll man ihre Entwicklung lenken? Um diese Fragen vertieft bearbeiten zu können, wurde am Institut für Bauplanung und Baubetrieb der ETH Zürich 1984 der Forschungsbereich «Computerunterstützung und Methodik der Ingenieurarbeit» unter Leitung von Dr. J.W. Schregenberger eingerichtet. In diesem Bereich sollen nun praxisnahe Perspektiven von innovativen Computermitteln und Methoden zur Unterstützung des Planens und Bauens entstehen. Wir befassen uns unter anderem eingehend mit den Möglichkeiten und Grenzen der Expertensysteme als einer neuen Softwaregeneration.**

Expertensysteme, eine neue Generation von Computerprogrammen, stellen das spezielle Wissen und die Pro-

VON JOHANN W.  
SCHREGENBERGER UND  
BENEDIKT KARGL,  
ZÜRICH

blemlösemethoden von Experten in einem allerdings beschränkten Problemfeld quasi jedermann zur Verfügung. Damit hofft man, die fachliche Kompetenz von «noch nicht Experten» generell anheben zu können.

Expertensysteme sind demnach die neuesten «Früchte» einer Bewegung, den Computer immer breiter, bedingungsloser und effizienter zum Lösen von Problemen einzusetzen.

Zwei (teilweise fiktive) Beispiele möglicher Expertensystem-Anwendungen aus dem Bereich Bauen und Planen sollen deren praktische Bedeutung beleuchten.

## *Erstes Beispiel:*

Sie sind Gesamtleiter eines grossen Bauprojektes und haben mit all Ihrer Erfahrung den zeitlichen Ablauf des Projektes entworfen, optimiert und im Netzplan festgelegt.

Während der Projektabwicklung haben Sie persönlich leider zuwenig Zeit, sich eingehend mit der Aktualisierung und laufend nötigen Revision des Netzplanes zu befassen. Ihr junger Assistent kann Ihnen diese Arbeit zum grössten Teil abnehmen. Er konsultiert ein von Ihrem Büro übernommenes, weiterentwickeltes Expertensystem, in dem die Projektdaten, Ihre generelle Erfahrung in Ablaufplanung und Ihre Überlegungen zum vorliegenden Projektablauf festgehalten sind. Die im Projektablauf auftretenden Verzögerungen und Zeitgewinne sowie die zugrunde liegenden hemmenden und beschleunigenden Faktoren werden laufend analysiert,

mit den Ausgangsüberlegungen konfrontiert und wiederum gespeichert. So ist Ihr Assistent mit Hilfe des Expertensystems stets in der Lage, Ihnen neue Netzplan-Dispositionen vorzuschlagen, quasi auf Grundlage Ihres eigenen Experten-Wissens und der kumulierten Projekterfahrung

Ein Vorläufer eines derartigen Expertensystems (PLATFORM) wurde 1985 von Prof. R. Levitt in Stanford entwickelt.

## *Zweites Beispiel:*

Ein jüngerer Sachbearbeiter im Ingenieurbüro erhält den Auftrag, möglichst rasch Konzept und Vordimensionierung für die Struktur eines 15stöckigen Hochhauses vorzulegen.

Mangels genügend eigener Konstruktionserfahrung fühlt sich der Mann unbehaglich. Seine Kollegen im Büro können auch keine grosse Hilfe bieten. Ein Rechenzentrum offeriert ihm die Online-Konsultation eines speziellen Expertensystems, welches genau die Problematik abdeckt: Konzept und Vordimensionierung von Geschäftshochhäusern. Das System erlaubt dem Sachbearbeiter, an seinem Arbeitsplatz von der Design-Erfahrung internationaler Experten zu zehren, deren Praxiswissen über das Problemfeld im Expertensystem steckt!

Das Expertensystem stellt in der Konsultation Fragen bezüglich der räumlichen, funktionalen, ökologischen Randbedingungen und den massgebenden Normen für den vorliegenden Fall. Es schlägt darauf mehrere in Frage kommende statische Systeme für das Hochhaus vor. Natürlich wird dies alles grafisch unterstützt. Der Sachbearbeiter/Ingenieur entwickelt im Dialog nach und nach mehrere erfahrungsgestützte Lösungen. Das Expertensystem bietet ihm dabei ein Arsenal statischer Subsysteme und detaillierter konstruktiver Lösungen an, welche mit der je-

weiligen Grobstruktur des Gebäudes verträglich sind und die Randbedingungen möglichst gut erfüllen. Wenn der Ingenieur wissen will, warum das Expertensystem diese oder jene Lösung vorschlägt, erhält er eine Erklärung! Die in Wort und Bild entwickelten Konzepte werden (wiederum interaktiv und aufgrund von Erfahrungskriterien) schliesslich bewertet.

Der Sachbearbeiter kann so viel schneller als erwartet seinem Chef eine attraktive Hochhaus-Lösung auf den Tisch legen.

Der Prototyp eines derartigen Expertensystems (HI-RISE) wurde 1984 von einer Forschergruppe unter der Leitung von Prof. S. Fenves an der Carnegie Mellon University entwickelt.

## **Der Computer als Berater**

Der Computer wird als Problemlöse-Assistent aufgefasst. Er soll möglichst viele Beraterfunktionen übernehmen können; entweder im Dialog mit einem menschlichen Benutzer oder beispielsweise als «intelligenter» Teil einer selbstregulierenden Maschine.

Im ersten Fall wird das Wissen kompetenter Fachleute im Dialog dem Benutzer zur Verfügung gestellt. Im zweiten Fall ermöglichen Expertensysteme die weitgehende Automatisierung von Prozessen (z.B. in Robotersteuerungen), in welche wir nur noch punktuell eingreifen wollen.

Expertensysteme unterscheiden sich nur graduell von konventioneller Software, vor allem durch die Art und Weise, wie Wissen (Fakten, Werte und Regeln) über ein Problemfeld erfasst und dargestellt, gespeichert, verarbeitet und der Beeinflussung durch den Benutzer zugänglich gemacht wird. Prinzipiell können im Rahmen von Expertensystemen alle bisher bekannten Funktionen konventioneller Software verwirklicht werden.

Es reizte uns, die Expertensysteme als konsequente, logische Weiterentwicklung der heute herrschenden «konventionellen» Softwaretechnologien zu skizzieren.

Dabei gehen wir aus von der Komplexität eines (mit dem Computer) zu lösenden Problems einerseits und vom relativen Entwicklungsaufwand für die problemlösende Software andererseits. Gestützt auf eine gerade herrschende Generation von Programmiersprachen und Programmierweisen, sinkt der spezifische Entwicklungsaufwand (A) im Laufe der Zeit bei vergleichbarer Problemkomplexität (K). Jede Softwaretechnologie wird mit der Zeit effizien-

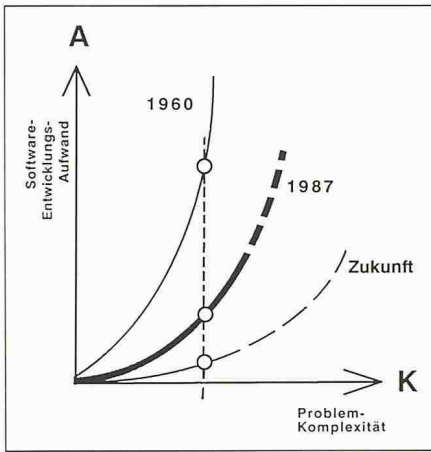


Bild 1. Softwarekomplexität und Entwicklungsaufwand

ter. Allerdings kommt sie schliesslich an eine immanente Entwicklungsbarriere.

**Software-Evolution**

Diese Barriere kann aber, im Sinne eines evolutiven Prozesses, überwunden werden mit grundlegend neuen Software-Eigenschaften.

Markante Evolutionsstufen werden voneinander abgehoben unter dem Aspekt der formalen Problemrepräsentation und -bearbeitung (Löseprozess) im Computer. Während in konventioneller Software das zu bearbeitende

Problem mit mathematischen, formal-logischen Mitteln abgebildet und gelöst wird (typisch dafür die Berechnungsprogramme), gestatten Expertensysteme das Problemlösen mittels der Umgangssprache und quasi natürlicher (Alltags-)Logik. Dadurch werden viele Probleme, welche derzeit nur sehr mühsam oder gar nicht mit dem Computer gelöst werden können, der Computerbearbeitung erschlossen.

Obschon Expertensysteme auch nur ein begrenztes Entwicklungspotential besitzen, versprechen sie eine sprunghafte Ausweitung der heute realisierbaren Softwarefunktionen.

**Expertensysteme funktionieren «menschennähnlich»**

Schon die heutigen Expertensysteme haben eine stärkere Analogie zum Verhalten des Menschen, Probleme zu lösen, als konventionelle Programme:

- prinzipielle Verwendung der Umgangssprache als Informationsträger;
- eine Argumentationslogik, die dem problemlösenden Denken des Menschen nachempfunden ist;
- die Möglichkeit, Erfahrungswissen von einzelnen Experten ebenso aufzunehmen und zu verarbeiten wie akademisches (allgemeingültiges) Wissen;
- die Möglichkeit, laufend neue Informationen und Schlussfolgerungen in

das Programm zu integrieren und gespeicherte, veraltete Informationen gegen aktuellere auszutauschen;

- die Möglichkeit, vages und heuristisches Wissen zu verarbeiten;
- vertrauliche Kommunikation zwischen Computer und Benützer, analog der Sitzung (Konsultation) eines Auftraggebers mit seinem Berater.

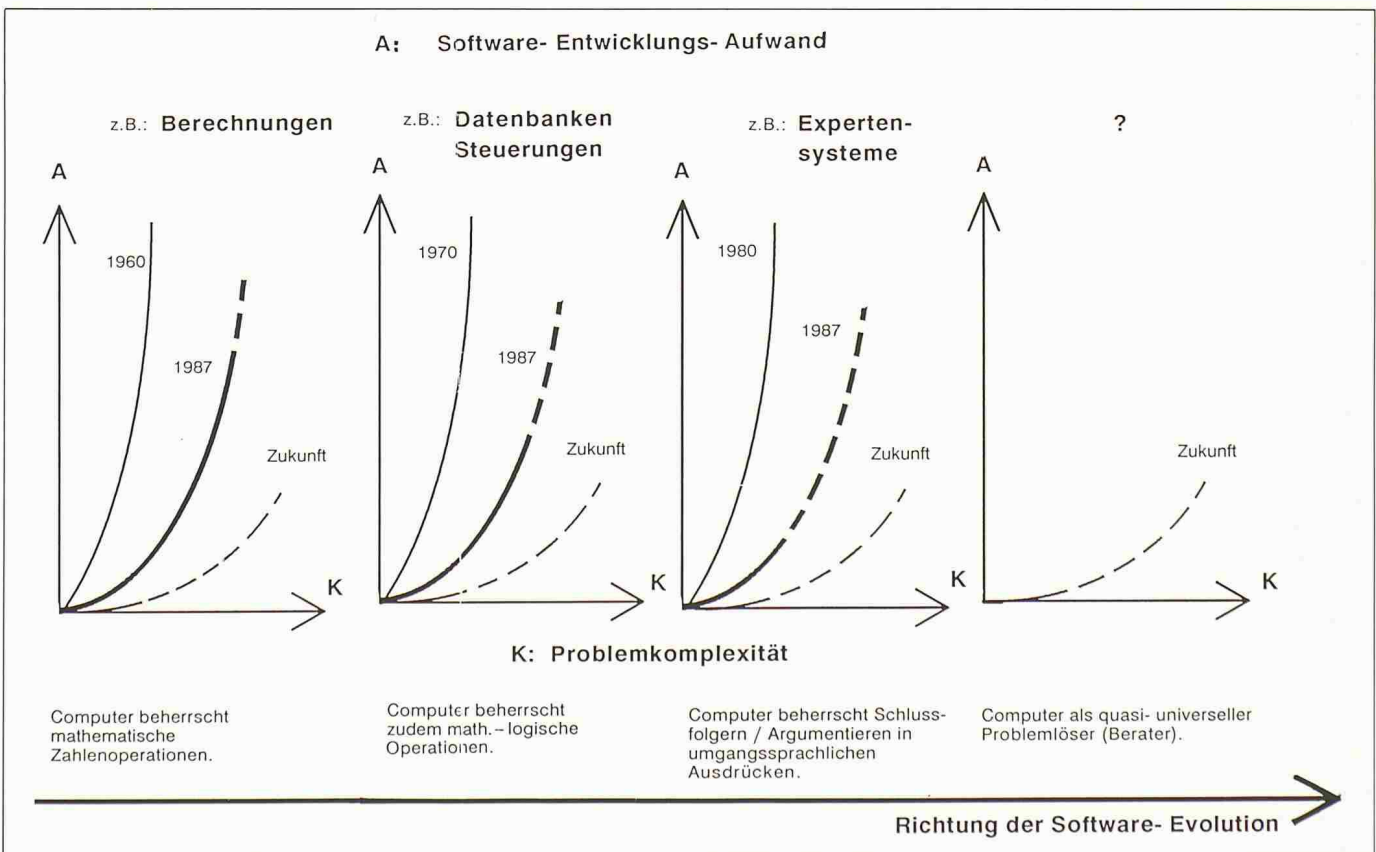
**Expertensysteme für «normale» Computer**

Um diese hier vorerst nur angedeuteten Neuerungen möglichst effizient realisieren zu können, wurden seit Mitte der 50er Jahre spezielle Programmiersprachen (Künstliche-Intelligenz-Sprachen) entwickelt. Es gibt zwar speziell auf diese KI-Sprachen abgestimmte Hardware mit angepasster Logik und dementsprechend hoher Leistung, ihre Verwendung ist aber keine prinzipielle Voraussetzung zum Einsatz von Expertensystemen. Der Trend läuft eher dahin, Expertensysteme für jeden leistungsfähigen Personal-Computer (PC) anzubieten.

**Eine neue Generation von Programmen**

Zum Lösen von Problemen verfügen wir über komplexe Fähigkeiten und damit über Mechanismen, Wissen zielorientiert zu verarbeiten. Unsere Wis-

Bild 2. Software-Evolution unter dem Aspekt der formalen Problemrepräsentation und Bearbeitung



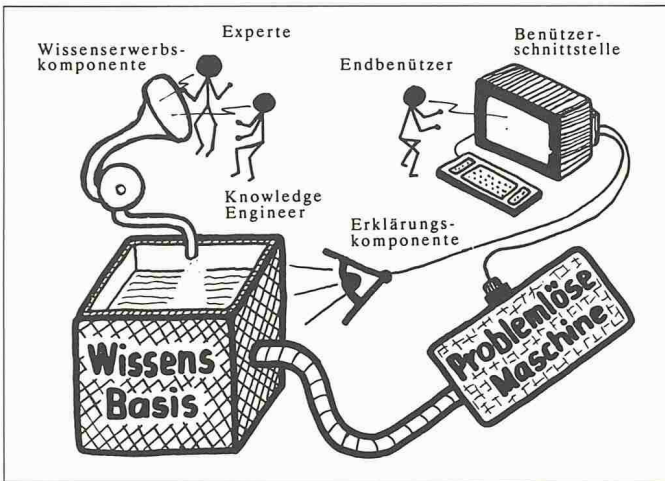


Bild 3. Expertensysteme als eine neue Generation von Programmen

<b>WENN</b>	das Verhältnis Länge zu Breite grösser als "X" ist ...	Aussage-Teil
<b>UND</b>	das Verhältnis Länge zu Dicke grösser als "Y" ist :	(Prämisse)
<b>DANN</b>	darf der betrachtete Bauteil ziemlich sicher als Stab (Balken) betrachtet	Folgerungs-Teil
<b>UND</b>	seine Scheibenwirkung im Allgemeinen vernachlässigt werden.	(Konklusion)
<b>Anmerkung :</b> Bedingung, unter welcher der betrachtete Bauteil normalerweise als Stab betrachtet werden darf.		Erklärungs-Teil

Bild 4. Wissensdarstellung mit «Wenn-Dann-Regeln»

sensbasis (Gedächtnis) enthält erfahrene und übernommene Fakten, Werte und Regeln. Experten in einem Fachgebiet zeichnen sich durch Erfahrungen aus, die sie in die Lage versetzen, Fakten, Werte und Regeln in einer bestimmten Problemsituation zutreffend anzuwenden.

Analog zum Menschen wird in Expertensystemen die «Problemlösemaschine» (Inferenz-Engine) gesondert von der Wissensbasis (Knowledge-Base) eingerichtet. Die Maschine verfügt, wie der Mensch, über verschiedene Methoden für das Vorgehen (insbesondere für das logische Schlussfolgern) beim Lösen von Problemen.

Einmal in Expertensystemen abgespeichertes Wissen geht nicht mehr verloren. Es lässt sich leicht ergänzen und auf Konsistenz überprüfen. Wissensbasen können willkürlich ausgetauscht werden, was beim menschlichen Gedächtnis nicht möglich ist. Für diese Manipulationen sind allerdings spezielle Softwarewerkzeuge nötig.

Wir unterscheiden folgende Hauptkomponenten eines Expertensystems (Bild 3):

- die Problemlösemaschine (Inferenz-Engine) zur Steuerung des Denkvorgangs;
- die Wissensbasis (Knowledge-Base), so etwas wie das Gedächtnis des Systems;
- die Wissenserwerbs-Komponente (Knowledge Environment oder Tool) zum Füllen der Wissensbasis;
- die Konsultations-Komponente (User-Interface), welche den Dialog mit dem Benutzer führt;
- die Erklärungs-Komponente («Warum» und «Was-wäre-wenn»-Komponente), welche die Lösungen erläutert und begründet.

Ist der Inhalt der Wissensbasis, also das konkrete Wissen über ein Problemfeld, noch nicht eingebracht, spricht man

von einer Expertensystem-Schale oder auch Shell. Um von einem Expertensystem sprechen zu können, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Probleme aus einem konkreten Anwendungsbereich werden auf Expertenniveau gelöst;
- es können vages Wissen und heuristische Prinzipien, also Faustregeln, verwendet werden;
- es resultieren dieselben Ergebnisse wie beim menschlichen Experten, sofern gleiches «Wissen» vorausgesetzt werden kann;
- es wird eine Programmierlogik verwendet, die auf einer konzeptionellen Trennung zwischen dem Wissen und den Mechanismen zu seiner Verarbeitung (den Wissensverarbeitungs-Prozeduren) beruht.

**Wissens-Erwerb**

Expertenwissen steckt entweder verborgen in menschlichen Experten, oder es ist bereits greifbar niedergelegt in Notizen und Publikationen, zum Beispiel auch in Normen. Um dieses Wissen in den Computer zu bringen, muss man es:

- extrahieren aus dem Erfahrungsschatz der Experten;
- strukturieren, also systematisch gliedern;
- komprimieren, also auf das Nötige reduzieren;
- formalisieren in einer Sprachsyntax;
- implementieren, also der Maschine eingeben.

Im Vergleich zu konventionellen Programmiersprachen können mit Expertensystemen einige bisher schwer lösbare Probleme bewältigt werden. Die Steuerung des Programmablaufes im Expertensystem funktioniert wie schon erwähnt unabhängig vom konkreten Inhalt der Wissensbasis. Gerade deshalb darf dieser Inhalt sein:

- vage, also unpräzise und/oder ungewiss (wahrscheinlich);
- widersprüchlich, obwohl zutreffend;
- unvollständig, nur gerade ausreichend;
- ungeordnet, aber dennoch greifbar.

Die Fähigkeit eines Expertensystems, Probleme zu lösen, wächst mit dem Umfang der Wissensbasis und mit der Vernetzung geeigneter Problemlösestrategien. Insofern selbst eine unvollständige Wissensbasis konsultiert, überprüft und falls nötig korrigiert werden kann, darf der Aufbau einer Wissensbasis in Schritten erfolgen. So können technische Entwicklungen bis zur Freigabe der Wissensbasis an die Benutzer berücksichtigt werden.

Die Realisierung von Expertensystemen birgt einige besondere Probleme:

- begrenzte Kooperationsbereitschaft der Experten beim Aufzeichnen ihres Wissens;
- Wissen ist oft nur implizit vorhanden, also schwierig zu explizieren;
- Wissen kann widersprüchlich und doch «korrekt» sein;
- Wissen kann formal unterschiedlich eingebracht werden, entweder beschreibend (deklarativ) oder als Regel (prozedural).

Um diese Probleme erfolgreich lösen zu können, ist ein neuer Beruf im Entstehen, derjenige des «Wissens-Ingenieurs» respektive «Knowledge-Engineers».

**Wissens-Darstellung**

Wie kann vernetztes Wissen (Fakten, Werte und Regeln) überhaupt computergerecht dargestellt werden? Eine umfassende Analogie zum menschlichen Gedächtnis ist vorerst nicht herstellbar, denn die Art und Weise, wie es strukturiert ist und arbeitet, liegt noch weitgehend im dunkeln. Deshalb behilft sich die Informatik vorläufig mit

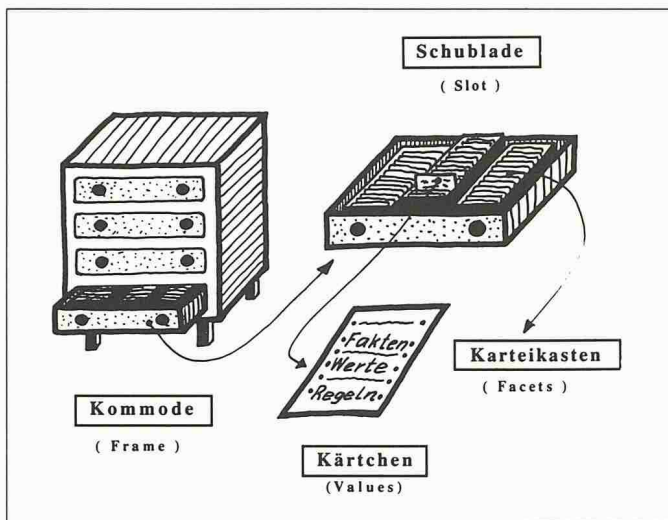


Bild 5. Wissensdarstellung mit Frames («Schachteln»)

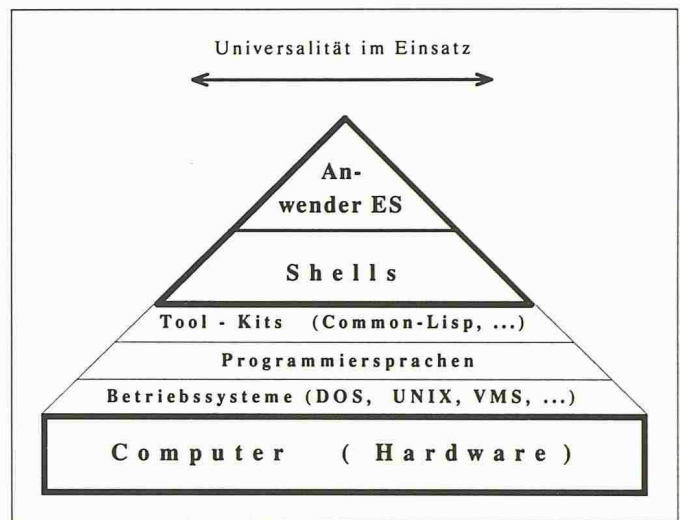


Bild 6. Das mehrschichtige Expertensystem-Instrumentarium

einigen künstlich anmutenden Repräsentationstechniken. Zwei Beispiele sollen dies veranschaulichen.

*Das Konzept der Produktions-Regeln*

Falls eine Behauptung (Premise bzw. Aussage) zutrifft, sollen auch die daraus ableitbaren Folgerungen (Conclusions) gültig werden (Bild 4). Nützliche Zusatzinformationen können mit den Regeln verknüpft werden. So zum Beispiel, wer diese wann definiert hat, auf welcher Grundlage sie basieren und was mit ihnen erreicht werden soll. Ein grosser Teil des Wissens lässt sich in dieser Form mehr oder weniger komfortabel darstellen.

*Das Konzept der Frames*

Mit Frames können ganze Gruppen von Behauptungen (also Sinnzusammenhänge) und deren Folgerungen (wie Wertzuweisungen, Rechenoperationen, weitere Frames, Regeln usw.) zusammengefasst und einfach dargestellt werden (Bild 5). Diese Form eignet sich besonders für Wissen, welches von übergeordneten Gruppen an Untergruppen übertragen werden soll, also für hierarchisch strukturierbares Wissen.

**Wissens-Abfrage**

Wie kann der Benutzer das in den Computer eingebrachte Expertenwissen ausschöpfen? Für Expertensysteme wurden hiezu ausgefeilte Dialogformen, analog einer Beratung via Telefon, entwickelt. Da das Wissen in Form von abgeschlossenen Regeln, Frames und ähnlichem vorliegt, ist die Konsultation nicht zwingend an einen vordefinierten Beginn und Endpunkt gebunden, wie das bei konventionellen, prozeduralen Programmen der Fall ist. Es können beliebig viele Konsultationsziele vereinbart und auch wieder modifiziert werden.

Der «Denkprozess» der Maschine besteht im zielstrebigem Ausschuchen, Vergleichen und Aktivieren von Wissens-elementen aus der Wissensbasis. Zu diesem Zweck werden elementare logische Informationsverarbeitungs-Strategien, sogenannte heuristische Denk-Prinzipien, eingesetzt. Diese sorgen dafür, dass der Computer auf gestellte Fragen oder Probleme möglichst adäquate und gute Antworten findet.

Folgende Eigenschaften sind ganz speziell in Expertensystemen realisierbar:

Falls das im System vorhandene Wissen nicht ausreicht, wird beim Benutzer (dem Menschen, einem Sensor oder einer Datenbank) um weitere Informationen nachgefragt. Falls die gewünschte Auskunft nicht «obligatorisch» ist, kann sie vom Benutzer auch ignoriert werden. Wird der Sinn einer vom System gestellten Frage nicht verstanden, kann der Benutzer nachfragen, weshalb sie gestellt wurde und welche Regel zur Fragestellung geführt hat. Falls er Folgerungen und Resultate nicht versteht, kann er beliebig viele Konsultationsschritte zurückverfolgen.

Das nachträgliche Abändern irgendeiner Antwort führt zur Elimination aller nicht mehr gültigen Folgerungen und ihrer entsprechenden Werte sowie zur Nachfrage aller dann neu erforderlichen Informationen. Auch bevor alle Werte eingegeben sind, kann das System auf Wunsch mögliche Schlüsse ziehen. Der Umgang mit vagem Wissen und Heuristiken (Faustregeln) bereitet keine prinzipiellen Schwierigkeiten mehr.

**Auf dem Weg zur praktischen Anwendung - eine Übersicht**

Das mehrschichtige Expertensystem-Instrumentarium ist in Bild 6 dargestellt.

**Software und Hardware**

Wir unterscheiden Shells (Expertensysteme mit «leerer» Wissensbasis) nach ihrer Flexibilität (Bild 7). Kleine Systeme haben wenig Anpassungsfähigkeit, grosse können fast beliebig «zurechtgeschneidert» werden. Um beispielsweise Design-Prozesse unterstützen zu können, sind Shells mit grosser Flexibilität erforderlich.

Bei Verwendung von Shells können auch Nicht-Informatiker mit erträglichem Aufwand ein mehr oder weniger komfortables und genügend schnell laufendes Expertensystem (immer nur für eine bestimmtes enges Anwendungsgebiet) erstellen. Einige Shell-Namen sind in Bild 7 aufgeführt. Je nach ihrer Leistungsfähigkeit erfordern diese auch eine angepasste Hardware.

Hardwareseits können drei Gruppen von Maschinen unterschieden werden (Bild 8): die Personal-Computer, sogenannte Workstations und spezialisierte Hardware. Sie unterscheiden sich in Preis, Leistungsfähigkeit und Spezialisierung. Einige bekannte Maschinen haben wir so versucht einzuordnen.

**Aktuelle Verbreitung**

Die praktische Anwendung von Expertensystemen steckt zwar in den Anfängen, neueste Marktstudien prophezeien aber einen explosiv wachsenden Softwaremarkt, der bereits um 1990 weltweit etwa 4 Milliarden SFr. erreichen soll. Innert 5 Jahren erwartet man (nach Harmon und King) den entscheidenden Durchbruch der Expertensysteme bzw. ihren bereits routinemässigen Einsatz.

**Anwendungen im Bauwesen**

Unsere hauptsächliche Quelle zur Beurteilung der Anwendung von Expertensystemen im Bauwesen ist eine relativ neue Studie des US Army Corps

Preisklasse:		< 5'000	> 10'000	> 100'000
Problem- typ Flexi- bilität	Shell -	Primär geeignet für		
	Name	Konfiguration	Entwurf	Diagnose + Evaluation
gross	K E E	■	■	■
	O P S S	■	■	■
	A R T	■	■	■
mittel	B a b y l o n	□	□	□
	T w a i c e	□	□	□
	P C +	□	□	□
klein	X I P l u s	■	■	■
	G u r u	■	■	■
	E x s y s	■	■	■

Bild 7. Einige Expertensystem-Shells (exemplarisch)

Preis	< - - 10'000 - - - 100'000 - - >
<b>PC</b> MS-DOS und andere	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ IBM PC - AT (kompatible)</li> <li>■ Mac Intosh</li> <li>■ und andere</li> </ul>
<b>Work- stations</b> UNIX u.a.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Microvax / Xerox</li> <li>■ DEC / Targon</li> <li>■ und andere</li> </ul>
<b>Spe- zielle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Symbolics (Lisp-Maschine)</li> <li>■ TI-Explorer</li> <li>■ und andere</li> </ul>

Bild 8. Geeignete Hardware auf dem Markt (exemplarisch)

of Engineers für die Bereiche Bauingenieurwesen und Baumanagement in den USA und England. ASCE - vgl. auch die Publikation von Maher M. L. (Editor) 1987. Wir entnehmen dem Beitrag von Levitt (Stanford) eine Softwareklassifikation und Einstufung für den exemplarischen Teilbereich Construction, Engineering und Management. Bei den Anwender-Expertensystemen, insofern sie zugänglich und nicht rein firmeninterne Projekte sind, finden wir für die USA und England folgende Situation:

- es gibt offenbar erst eine handvoll operationeller (Standard-)Expertensysteme, d.h. empirisch bewährte, routinemässig von Dritten eingesetzte Systeme;
- es gibt ein Dutzend operationaler Prototypen, welche noch empirischer Validierung in der Praxis bedürfen;
- es gibt zwei Dutzend laufende Entwicklungen und Konzeptvorschläge in verschiedenen Teilgebieten.

Die meisten Entwicklungen im Bereich Planen und Bauen entfallen zurzeit auf die Gebiete des Projekt- und Baumanagements sowie des Designs (Entwurf/Konstruktion/Layout). Als besonders weitgespannte, zukunftssträchtige Entwicklungsrichtung (vor allem im Bereich von universitären Arbeiten) erachten wir die Verwendung von Expertensystemen zur Integration verschiedener EDV-Mittel beziehungsweise Inzellösungen am Arbeitsplatz. Unter den am weitesten fortgeschrittenen Konzepten finden wir die Unterstützung von CAD-Einrichtungen durch Expertensystem-Module, welche gleichzeitig die Schnittstellen zu Berechnungsoperationen steuern.

**Einstieg**

Wer für ein von ihm definiertes Problem ein Expertensystem einsetzen möchte und kein passendes auf dem

Markt findet, kann sich diesbezüglich beraten lassen oder selber eines entwickeln. Es gibt eine wachsende Zahl von Beratungsfirmen, die entsprechende Dienstleistungen anbieten.

Zur Entwicklung massgeschneiderter Expertensysteme gibt es verschiedenste «Software-Tools», mit deren geschickter Verwendung man den Aufwand zum Erstellen des Expertensystems in Grenzen halten kann. Wir unterscheiden dabei zwischen Programmierhilfen (darunter spezielle Programmiersprachen wie zum Beispiel LISP und PROLOG), «Entwicklungsumgebungen» (universelle, aber teure Werkzeuge für das Erstellen von Expertensystemen durch Informatiker) und den «Shells».

**Kriterien für Expertensystem-Projekte**

Man kann prinzipiell jedes Problem mit einem Expertensystem-Ansatz zu lösen versuchen. Die Vorzüge des Expertensystem-Konzeptes kommen um so stärker zum Zuge, je ausgeprägter das Wissen im bearbeiteten Problemfeld die folgenden charakteristischen Merkmale aufweist:

- es ist subjektives Erfahrungswissen aus der Praxis;
- es liegt noch kein systematisches, statistisch begründetes, wissenschaftlich gesichertes Wissen über das Problemfeld vor;
- das Wissen ist vage, sowohl in den Feststellungen als auch in den Behauptungen, die Faustregeln dominieren;
- das Wissen ist kostbar und selten, es könnte verlorengehen;
- das Wissen ist umfangreich und/oder komplex und damit nicht intuitiv einsichtig;
- das Wissen ist unvollständig und lückenhaft, es ist ergänzungsbedürftig und sollte mit wenig Aufwand (zu-

mindest während der Expertensystem-Entwicklung) rasch revidiert werden können, um Lerneffekte zu berücksichtigen.

Bezüglich der Beraterleistung des Computers gibt es folgende Merkmale:

- sie muss schnell und spontan verfügbar sein, um wichtige Entscheidungen unter Zeitdruck wirkungsvoll unterstützen zu können;
- sie muss vom Computer transparent gemacht, zusammengefasst, interpretiert und in Umgangssprache erläutert und begründet werden können;
- sie muss nicht unbedingt präzise sein, sondern heuristisch stark, d.h. helfen, ein komplexes Problem quasi-optimal zu bewältigen in der gerade verfügbaren Zeit.

Je mehr dieser Kriterien zutreffend sind, desto aussichtsreicher ist der Expertensystem-Ansatz im Vergleich zu konventionellen Programmen.

Mit den zurzeit erhältlichen und auf heutiger Hardware lauffähigen Expertensystemen können leider erst enggefasste Probleme gelöst werden. Ein Problem muss vorderhand noch im Rahmen eines sehr beschränkten Kontextes (eines bescheidenen Hintergrundwissens) gelöst werden können. Deshalb eignen sich Probleme, welche zur Lösung viel Allgemeinwissen voraussetzen, noch nicht für Expertensysteme.

Die Entwicklung universeller Expertensysteme (welche auf beliebige Probleme sinnvoll reagieren) wird erst in ferner Zukunft möglich sein. Trotzdem spricht man bereits heute davon, eine Menge verschiedenartiger Expertensystem-Module mit einem übergeordneten Expertensystem zu steuern und damit einem quasi-universellen Berater näherzukommen.

**Literatur****Allgemeine Einführungen**

Feigenbaum, E.A.; McCorduck, P.: Die Fünfte Computer-Generation. Künstliche Intelligenz und die Herausforderung Japans an die Welt. Deutsche Übersetzung, Basel, Birkhäuser, 1984

Harmon, P.; King, D.: Expertensysteme in der Praxis. Perspektiven, Werkzeuge, Erfahrungen. Deutsche Übersetzung, München, Oldenbourg, 1986

Hayes-Roth, F.; Watermann, D.A.; Lenat, D.B.: Building Expert Systems. The Teknowledge Series in Knowledge Engineering. Advanced Book Program. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley, 1983

Hollnagel, E.; Mancini, G.; Woods, D.D.: Intelligent Decision Support in Process Environments. Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on IDSS. Ser. F, Computer and Systems Sciences Vol. 21. NATO Advanced Science Institutes Series. Berlin, Springer, 1985

Holsapple, C.W., Whinston, A.B.: Decision Support Systems. Theory and Application. Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on DSS. Series F. Computer and Systems Sciences Vol. 31. NATO Advanced Science Institutes Series. Berlin, Springer, 1987

Levitt, R.: Expert Systems in Civil Engineering. Course Syllabus (CE 245B). Stanford University, 1987

Savory, S.: Expertensysteme, Nutzen für Ihr Unternehmen. Ein Leitfaden für Entscheidungsträger. Nixdorf Computer AG, München, Oldenbourg, 1987

Schank, R.C., Childers, P.G.: Die Zukunft der Künstlichen Intelligenz. Chancen und Risiken. Deutsche Übersetzung, Köln, DuMont, 1986

Schnupp, P.; Leibrandt, U.: Expertensysteme – Nicht nur für Informatiker. Berlin, Springer Compass, 1986

Waterman, D.A.: A Guide to Expert Systems. The Teknowledge Series in Knowledge Engineering. Advanced Book Program. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley, 1986

Winston, P.H.: Artificial Intelligence. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley, 1984

**Genereller Entwicklungsstand**

Avignon '87, Exhibition Catalog. Expert Systems & Their Applications. 7th International Workshop, Nanterre, EC2, 1987

Avignon '87, Volume 1,2. Expert Systems & Their Applications. 7th International Workshop, Nanterre, EC2, 1987

Bernold, Th.; Albers, G.: Artificial Intelligence Towards Practical Application. Proceedings of the joint Technology Assessment Conference of the Gottlieb Duttweiler Institute and the ECCAI,

Rüschlikon. Technology Assessment and Management, Amsterdam, North-Holland, 1985

Brauer, W., und Radig, B. (Hrsg.): Wissensbasierte Systeme. Systems 87, München. GI-Kongress über Künstliche Intelligenz. Informatik-Fachberichte 112, Berlin, Springer, 1985

Ehrlenspiel, K., Figel, K.: Applications of Expert Systems in Machine Design. Aus: «Konstruktion» 39, Heft 7, S. 280-284. Berlin, Springer, 1987

INTERNET 11th International Expert Seminar (Proceedings). Topic 3, Data Bases and Expert Systems. Zürich, INTERNET, 1987

Krallmann, H.: Expertensysteme im praktischen Einsatz. Leistungen, Probleme, Perspektiven. Tagungsband zu BIG-TECH Berlin '86. Innovation und Management (8). Berlin, Weidler, 1987

Krallmann, H. (Hrsg.): Expertensysteme im Unternehmen. Möglichkeiten, Grenzen, Anwendungsbeispiele. Betriebliche Informations- und Kommunikationssysteme (Band 6). Berlin, Erich Schmidt, 1986

Kriz, J. (Editor): Knowledge-Based Systems in Industry. International Workshop (Proceedings). Brown Boveri Research Center. Dättwil, BBC, Dept. KLR, 1986

Mertens, P.; Allgeyer, K.H.; Däs, H.; Schumann, M.: Betriebliche Expertensysteme in deutschsprachigen Ländern. Versuch einer Bestandaufnahme. Arbeitsberichte Band 19, Nummer 6. Nürnberg, Friedrich Alexander Universität Erlangen, Institut für mathematische Maschinen und Datenverarbeitung, 1986

Mertens, P.; Spieker, P.: Expertensysteme auf PC's. Möglichkeiten und Grenzen. Universität Kaiserslautern, 1987

Pau, L.F. (Editor): Artificial Intelligence in Economics and Management. Amsterdam, Elsevier, 1987

Savory, S.E. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz und Expertensysteme. Ein Forschungsbericht der Nixdorf AG. München, Wien, Oldenbourg, 1985

Talukdar, S.: Design Environments and Software Organizations. Int. Congress on Planning and Design Theory. Plenary and Interdisciplinary Lectures. New York, The American Society of Mechanical Engineers, 1987

**Entwicklungsstand im Bauwesen**

ASCE subcommittee on Knowledge Based Expert Systems. A Bibliography on Knowledge-Based Expert Systems in Civil Engineering. Sigart newsletter, July 1984

CIMA (Centre d'Informatique et de Méthodologie en Architecture) Journée Intelligence Artificielle et CAO dans le B.T.P. (24. Nov. 87, Sorbonne) Résumé des interventions. Paris, CIMA, 1987

ECAADE (Association for «Education in Computer Aided Architectural Design in Europe») International Conference on Computer Aided Architectural Design. CAAD futures (Pre-Proceedings). Eindhoven, University of Technology, 1987

ECAADE (Association for «Education in Computer Aided Architectural Design in Europe») 10th International Forum on Architectural Education and the Information Explosion (Pre-Proceedings). ETH Zürich, 1987

Fenves, S.J., Maher, M.L.; Sriram, D.: Knowledge-based expert systems in civil engineering. IABSE Journal J-29/85. Zürich, IABSE (International Association for Bridge and Structural Engineering), 1985

Levitt, R.E.; with input from Ashley, D.B.; Bjornsson, H.; Diekmann, J.; Dym, C.L.; Logcher, R.L.; Maher, M.L.; O'Connor, Michael J.; Reed, K.A.; Reinschmidt, K.F.; Shaffer, R.; Trimble, G.: Research Areas For The Application Of Knowledge-Based Expert Systems To Construction Engineering And Management. National Science Foundation Workshop (May 1985, Champaign). Stanford University, 1985

Levitt, R.E.; Kunz, J.C.: Using Knowledge Of Construction and Project-Management For Automated Schedule Updating. Stanford University, 1987

Levitt, R.E.; Kunz, J.C.: Using Artificial Intelligence Techniques to Support Project Management, Working Paper 1, Stanford University, 1987

Maher, M.L. (Editor): Expert Systems for Civil Engineers: Technology and Application. New York, The American Society of Civil Engineers, 1987

Maher, M.L.; Fenves, S.J.: HI-RISE. An Expert System For The Preliminary Structural Design Of High Rise Buildings. Carnegie Mellon University, 1987

Rehak, D.R.; Fenves, S.J.: Expert Systems in Civil Engineering, Construction and Construction Robotics. Prepared for 1984 «Annual Research Review». Carnegie-Mellon University, 1985

Sriram, D.: Knowledge-Based Approaches for Structural Design. Thesis. Carnegie-Mellon University, 1986

Tommelein, I.D.; Levitt, R.E.; Hayes-Roth, B.: Using Expert Systems for the Layout of temporary facilities on Construction Sites. Paper for CIB W65 Symposium. Stanford University, 1987.

Tremp, T.: SENSURB Expert System For Energy Supply Of Residential Buildings. Baden, Brown Boveri, Dept. EKT, 1987

US Army Corps of Engineers, Construction Engineering Research Laboratory, (Editor): Survey of the State-of-the-Art Expert/ Knowledge Based Systems in Civil Engineering. USA-CERL Special Report P87/01, Champaign (Illinois), 1986

*IBETH-Forschungsbereich «Computerunterstützung und Methodik der Ingenieurarbeit», Projekte mit Einbezug von Expertensystem-Konzepten:*

### **Computerunterstütztes Problemlösen**

Sachbearbeiter: zurzeit vakant. Betreuung und konzeptionelle Mitarbeit: Dr. J. W. Schregenberger.

Die Idee eines universellen Beratersystems, mit welchem die meisten Problemtypen bearbeitet werden können, wurde im Prinzip erstmals im «General Problem Solver» von *Newell/Simon* konkretisiert.

Wir haben seinerzeit (J.W. Schregenberger, «Methodenbewusstes Problemlösen», Bern/Stuttgart, Haupt, 1982) eine weiterführende, psychologisch und praxeologisch basierte, universelle Grundstruktur von Problemlösungsprozessen vorgeschlagen. Die mögliche Umsetzung dieser rekursiven, hierarchischen Struktur in ein Computerprogramm wurde 1985/86 in eigenen Vorstudien und im Rahmen von Studentarbeiten diskutiert. Wir möchten dieses Ziel längerfristig in Kooperation mit Informatikern verwirklichen.

### **Computerunterstützte Ingenieurarbeit 2000**

Sachbearbeiter: *B. Kargl*, dipl. Bau.-Ing. ETH. Betreuung und konzeptionelle Mitarbeit: Dr. *J.W. Schregenberger*. Sponsoren: Motor-Columbus AG, Baden; Nixdorf Computer AG Schweiz, Kloten.

Wie möchten wir als Ingenieure und Architekten unsere Aufgaben im Jahre 2000 bearbeiten? Welche Computer- und Kommunikationsmittel wünschen wir uns dannzumal?

Angesichts der primär durch Computerinteressen gelenkten faktischen Umwäl-

zung unserer Arbeitsweise fühlen wir uns zu einer fundierten Stellungnahme verpflichtet!

Folgende Perspektiven sollen berücksichtigt werden:

Die aufkommenden Szenarien und Visionen von «Mensch und Computer im Jahre 2000» (Haefner).

Die Entwicklung der Computer- und Kommunikationsmittel sowie ihres integrierten Einsatzes ganz allgemein, speziell aber die Trends in der Büroautomation und im CIM (Computer Integrated Manufacturing).

Die Entwicklung der «Künstlichen Intelligenz»-Mittel, speziell der Expertensysteme und wissensbasierten Decision Support Systems.

Die Veränderung der Arbeitsorganisation und Arbeitsstrukturen («Handlungsspielräume» usw.) im Rahmen der zunehmend automatisierten Fabriken.

Ziel unseres Perspektivprojektes ist das Erstellen eines quasi universellen Problemlöse-Beraters, welcher unseren Dialog mit einem Arsenal von EDV-gestützten Arbeits- und Kommunikationsmitteln optimal unterstützt.

Dieses «Meta-Expertensystem» soll in einer 1990 auf dem Markt verfügbaren Entwicklungsumgebung demonstrativ realisiert werden.

### **Computerunterstützte Baustellenführung**

Sachbearbeiter: *M. Gehri*, dipl. Bau.-Ing. ETH. Betreuung: Dr. *J.W. Schregenberger*.

Die Baustellenführung benötigt für die Bewältigung ihrer Hauptaufgaben zeitgerechte, ausreichend genaue und stark verdichtete Führungsinformationen. Die zurzeit auf (erst wenigen) Baustellen in-

stallierten EDV-Lösungen erfüllen diese Anforderungen nur punktuell.

Im Rahmen unseres Forschungsprojektes wird ein PC-basiertes Expertensystem als «Bauführer-Berater» demonstrativ entwickelt. Das System soll die Bedürfnisse der Baustellenführung kennen und den Bauführer in der Anwendung eines Arsenal konventioneller wie auch wissensbasierter Softwaremodule unterstützen. Die Möglichkeiten zur Integration heute verfügbarer Softwarepakete sollen untersucht und Anforderungen für künftig zu entwickelnde Module aufgestellt werden.

### **Computerunterstützte Planung der Instandhaltung und Sanierung von Bauwerken (in Vorbereitung)**

Kooperation mit EMPA Dübendorf vorgesehen. Sachbearbeiter: noch offen. Koordinator: Dr. *J.W. Schregenberger*. Sponsoren: in Verhandlung.

Die Planung der Instandhaltung und Sanierung von Bauwerken wurde in einer Arbeit von *M. Ladner* in «Zustandsuntersuchungen an Massivbauten - ein wichtiger Teil der Unterhaltsarbeiten», Schweizer Ingenieur und Architekt, 14/86, S. 301-307, als sequentieller Entscheidungsprozess unter Unsicherheit modelliert.

Das Wissen über Zustand und Verhalten eines Bauwerkes muss möglichst rationell sukzessive erweitert werden. Darauf gestützt sind jeweils wirkungsvolle Eingriffe am Bau zu planen und ihre Konsequenzen abzuschätzen.

Das benutzerseitig verwendete Entscheidungsbaumverfahren wird mit wissensbasierten Modulen ergänzt, um die Erfahrung von Bausanierungsexperten einbringen zu können.

## **Schlussbemerkung**

Wir haben Buchhandlungen und Prospekte nach Visionen über das «Büro 2000» durchstöbert. Obschon sich Computerindustrie, Bürosystem-Designer und Cartoon-Zeichner alle Mühe geben, überzeugende Visionen liessen sich nirgends finden.

Alle Vorstellungen über die Art und Weise, wie Ingenieure und Architekten im Jahre 2000 arbeiten bzw. Probleme lösen, beruhen auf heutigen Hardware-

Bildern und Gepflogenheiten. Das scheint uns etwas kurzsichtig. Wir glauben, dass neue Generationen von Hard- und Software, darunter ganz besonders die Expertensysteme als Beratersysteme, unsere Arbeitsweise sehr weitgehend umgestalten werden. Es ist die Frage, ob wir diese Bewegung beeinflussen können und wollen. Mit dem Einstieg in Expertensystem-Projekte nehmen wir jedenfalls aktiv daran teil.

Adresse der Verfasser: Dr. sc. techn. *J.W. Schregenberger*, dipl. Bau.-Ing. ETH, und *B. Kargl*, dipl. Bau.-Ing. ETH, Institut für Bauplanung und Baubetrieb, Eidgenössische Technische Hochschule, 8093 Zürich-Hönggerberg.

Dieser Text ist die überarbeitete Fassung eines Vortrags, gehalten am 27. Oktober 1987 an der Tagung «Office of the future» des SIA in Biel.