Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 81 (1990)

Heft: 3

Artikel: Die Bedeutung von Expertensystem für Planung und Betrieb elektrischer Energieversorgungssysteme

Autor: Handschin, Edmund / Hoffmann, Wolfgang

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-903069

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die Bedeutung von Expertensystemen für Planung und Betrieb elektrischer Energieversorgungssysteme

Edmund Handschin und Wolfgang Hoffmann

Expertensysteme zeigen neue Wege zur Optimierung des Computereinsatzes in der elektrischen Energieversorgung auf. Ausgehend von einer Analyse der Aufgaben der elektrischen Energieversorgung werden die potentiellen Anwendungsbereiche von Expertensystemen herausgearbeitet. Die Autoren stellen das Prinzip von Expertensystemen dar und erläutern Grundbegriffe der Wissensdarstellung in technischen Systemen. Die Möglichkeiten und Grenzen heutiger Expertensysteme werden kritisch beleuchtet.

Les systèmes experts offrent de nouvelles voies d'application d'ordinateurs dans l'exploitation des réseaux électriques. Commençant par une analyse des tâches des réseaux électriques on met l'accent sur des applications prometteuses des systèmes experts. Les auteurs donnent les définitions fondamentales en relation avec les systèmes experts et présentent les différents principes de la représentation des connaissances dans les systèmes automatiques. Les grandes prétentions et les limites des systèmes experts actuels sont discutées critiquement.

Adresse der Autoren
Prof. Dr.-Ing. *Edmund Handschin*, und
Dipl.-Ing. *Wolfgang Hoffmann*, Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung, Universität Dortmund, D-4600 Dortmund 50

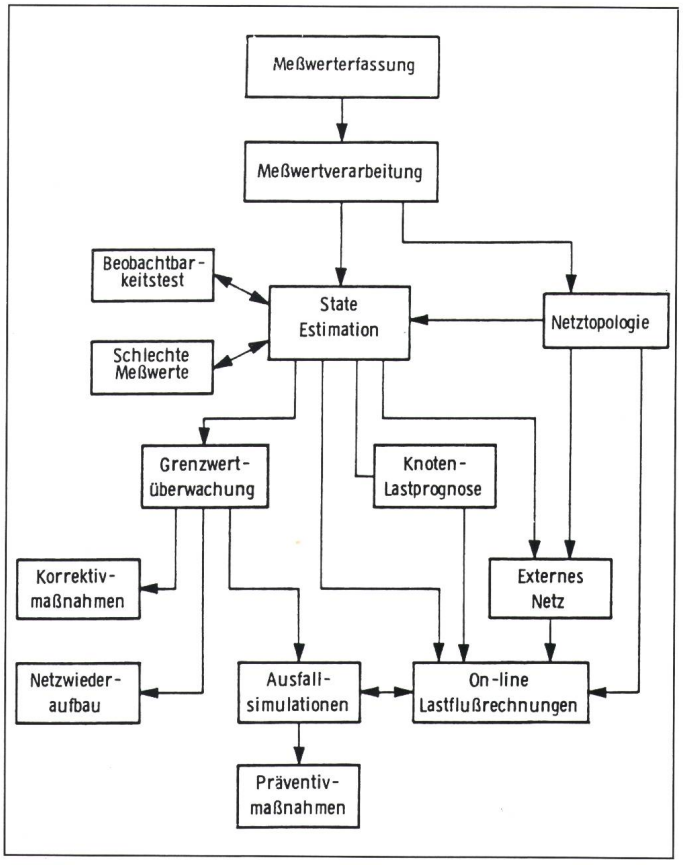
Für den Betrieb elektrischer Energieversorgungsnetze sind zur Sicherung der Versorgungskontinuität und -qualität zahlreiche Aufgaben in enger Zusammenarbeit zwischen Schaltingenieur und Rechner kontinuierlich zu bearbeiten. Diese Aufgaben lassen sich in folgende Gruppen einteilen:

- Messwertverarbeitung zur Bestimmung des Betriebszustandes
- Grenzwert- und Netzsicherheitsüberwachung
- Betriebsplanung und Optimierung

Bei allen drei Aufgabenbereichen ist die aktuelle Netzsituation zu erfassen, zu analysieren und zu optimieren. Das Bild 1 zeigt die typische Struktur eines entsprechenden netzleittechnischen Systems.

Im Normalzustand muss der Schaltingenieur aufgrund von Netzsicherheitsberechnungen (z.B. Ausfallsimulation, On-line-Lastflussberechnung usw.) in bestimmten Lastsituationen präventive Massnahmen ergreifen, um das System im Hinblick auf die weitere Lastentwicklung wirtschaftlich und zuverlässig betreiben zu können. Bei der Auswahl der Präventivmassnahmen benutzt der Schaltingenieur seine langjährige Erfahrung und sein Wissen über das Netz einerseits und die algorithmisch berechneten Ergebnisse

Bild 1
Netzbetriebsführung



anderseits. Ähnliche Verhältnisse liegen bei der Wahl von Korrekturmassnahmen im gefährdeten Netzzustand und beim Netzwiederaufbau nach einer Versorgungsunterbrechung vor.

Am Beispiel der Netzsicherheitsüberwachung soll vorerst das heute eingesetzte Konzept vertieft werden, um mögliche *Defizite der algorithmischen Lösungen* aufzuzeigen. Zu der Netzsicherheitsüberwachung gehört die Analyse der aktuellen und der geplanten Netzzustände (nach der Durchführung von Schaltmassnahmen) mit dem Ziel einer quantifizierenden Bewertung. Kurzschlussrechnungen, Ausfallsimulationen und Stabilitätsanalysen sind Hilfsprogramme, die den Schaltingenieur bei der Beurteilung eines Betriebszustands und der Auswahl vorbeugender Massnahmen unterstützen.

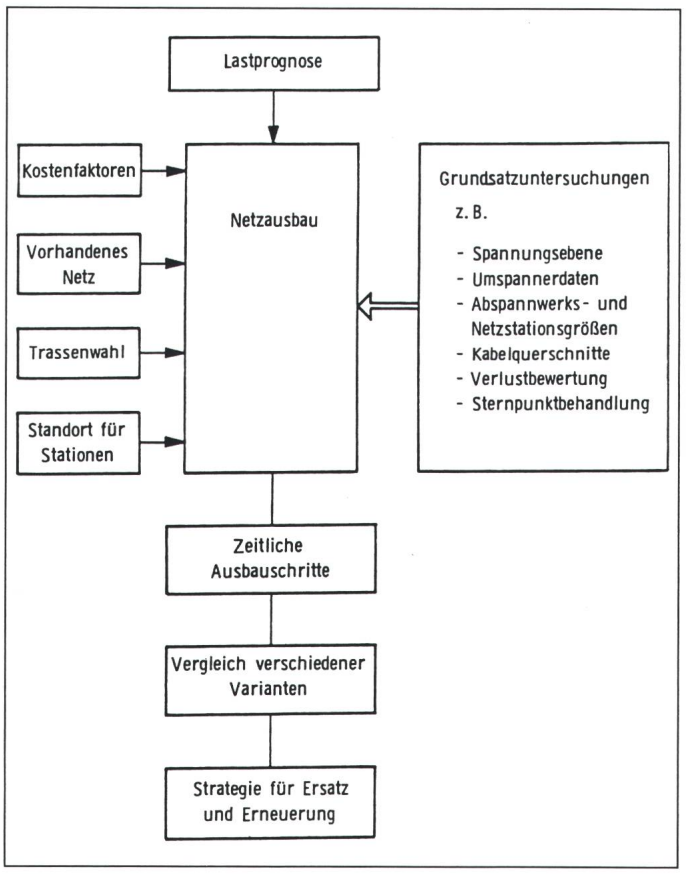
Bei der kritischen Bewertung der algorithmischen Lösungen zeigt sich, dass es oft gerade die einfachen Algorithmen sind, die selbst die Grenzen ihrer Anwendung bestimmen. Das Beispiel der Ausfallsimulation, wo mit Hilfe der Lastflussberechnung für eine gegebene Netzsituation Aussagen über die Ausfallsicherheit eines Netzes gewonnen werden, soll dies verdeutlichen. Sobald es gelingt, das Lastflussprogramm so zu erweitern, dass exakt definierte Ausfallversionen berechnet werden, sind gezielte Aussagen über das zu erwartende Netzverhalten nach Ausfällen möglich. Das dafür erforderliche Programm zeigt das für algorithmische Analyseprogramme typische Problem auf. Die grosse Zahl möglicher Ausfälle im Netz erfordert einen erheblichen Rechenzeitbedarf und trägt damit wesentlich zur Rechnerbelastung bei. Eine Verbesserung ist nur dann zu erwarten, wenn die Zahl der Ausfallvarianten aufgrund der Systemkenntnisse auf die wesentlichen beschränkt werden kann.

Bei der Planung sind unter Beachtung vieler Randbedingungen die beiden Komplexe

- Ausbauplanung für Erzeugungseinrichtungen und Netze
- Auslegung von Schaltanlagen sowie schutz- und informationstechnischen Systemen

zu bearbeiten. Bild 2 zeigt die Einbettung der Netzausbauplanung in die zahlreichen technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen. Bei der Berechnung der zahlreichen Ausbauvarianten wird der Planungsingenieur heute durch einzelne leistungsfähige Rechenprogramme wirksam unterstützt. Die grosse Anzahl der erforderlichen Grundsatzuntersuchungen erfordert einen aufwendigen Vergleich der möglichen Varianten, die schliesslich zu einer technisch sinnvollen und wirtschaftlich vertretbaren Strategie für Ausbau und Erneuerung des Netzes führen muss. Dabei spielen die Erfahrung und das spezifische Fachwissen des Planungsingenieurs eine zentrale Rolle [1].

Bild 2
Netzausbauplanung



Allgemein ist festzustellen, dass alle kombinatorischen Aufgabenstellungen Schwierigkeiten beim Versuch einer rein algorithmischen Bewältigung hervorrufen. Abhilfe ist zu erreichen, wenn es gelingt, eine *wissensbasierte Auswahl aus den zu rechnenden Varianten* zu treffen [2]. Ein weiteres Defizit des heutigen Rechnereinsatzes liegt auf dem Gebiet der bewertenden Integration von Berechnungsergebnissen für Entscheidungsprozesse. Heute ist es ausschliesslich die Aufgabe des erfahrenen Netzingenieurs, die Ergebnisse umfangreicher Analyse- und Prognoseprogramme hinsichtlich ihrer Aussagekraft zu bewerten und bei der Verletzung von technischen und/oder wirtschaftlichen Randbedingungen richtige Entscheidungen zu treffen. Als Beispiel sei auf das Problem hingewiesen, dass durch eine schlechte Konditionierung des Netzes die Ergebnisse einer Zustandsestimation nur bedingt aussagekräftig sind, d.h. algorithmische Programme können zu Ergebnissen führen, die heute nur der erfahrene Ingenieur bei der Betrachtung des Gesamtzusammenhangs beurteilen kann.

Um die Verfügbarkeit des dazu erforderlichen Fach- und Erfahrungswissens zu erhöhen, muss die heuristisch beschreibbare Vorgehensweise des Netzbetreibers mit Hilfe neuer informationstechnischer Verfahren systematisiert werden. Eine Rechnerunterstützung bei der Lösung dieser komplexen Aufgabe ist zwingend erforderlich. Die in den letzten Jahren intensiv entwickelte Softwaregeneration der Expertensysteme kann zur Lösung folgender Probleme erheblich beitragen:

- kombinatorische Probleme
- komplexe, nicht durch einfache Algorithmen beschreibbare Lösungen

- aussergewöhnliche Situationen (z.B. Störungen der Informationsübertragung)

Deshalb ist die anwendungsspezifische Beschäftigung mit der neuen deklarativen Programmiertechnik erforderlich. Diese stellt einen ähnlichen Sprung in der Programmentwicklung dar wie die Schaffung von Datenbanken, die die Computerprogramme der ersten Generation für Aufgaben im Bereich der elektrischen Energieversorgung erheblich leistungsfähiger gemacht haben.

Definitionen und Begriffe

Die Forschung zum Thema *künstliche Intelligenz* kann in drei Arbeitsfelder unterteilt werden. Ein erster Schwerpunkt befasst sich mit der Robotik. Eng damit verknüpft und mit wichtigem Bezug zur Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle ist zweitens die Verwirklichung natürlichsprachlicher Ein-/Ausgabe-Möglichkeiten und der Bildverarbeitung. Die Entwicklung von Expertensystemen (wissensbasierte Systeme), die auf bestimmten, klar abgegrenzten Problemfeldern das Fach- und Erfahrungswissen von Spezialisten repräsentieren, ist der dritte Schwerpunkt.

Expertensysteme sind wissensbasierte Systeme, die mittels des gespeicherten Wissens über einen Anwendungsbereich beim Lösen von Problemen eingesetzt werden können. Sie zielen darauf, die folgenden Fähigkeiten von *Experten* zu *simulieren:*

1. Problem verstehen
2. Problem lösen
3. Lösungen erklären
4. Lösungen bewerten
5. Wissen erweitern
6. Abschätzen der eigenen Kompetenz
7. Strukturierung von Wissen

Während die beiden ersten Punkte sowohl für algorithmische Programme wie auch für Expertensysteme gelten, sind die Punkte 3 bis 7 typische Merkmale eines Expertensystems. Da heute jedoch erst die Punkte 3, 4 und 5 für praktische Anwendungen zur Verfügung stehen, können wissensbasierte Systeme als der heute realisierbare Schritt auf dem Weg zum Expertensystem betrachtet werden.

Ein Expertensystem ist ein Rechnersystem, mit dem die Bearbeitung eines Problems durch einen Experten in einem eng und genau definierten Anwendungsgebiet simuliert werden kann; d.h. das Anwendungsgebiet muss so strukturiert sein, dass sich die Entwicklung eines Expertensystems zur effektiven Unterstützung des Netzingenieurs lohnt. Die bisherigen Anwendungsprogramme (z.B. Lastfluss, Kurzschluss, Estimation, Prognose usw.) sind gekennzeichnet durch kurze Antwortzeiten und begrenzte Zuverlässigkeit bei nicht typischen Eingangsdaten. Die Komplexität der Aufgaben ist dabei begrenzt. Auf der anderen Seite lässt sich die Arbeit des Schalt- bzw. Planungsingenieurs durch die hohe Komplexität der zu lösenden Aufgaben mit entsprechend langen Antwortzeiten kennzeichnen. Die Zuverlässigkeit der Problembearbeitung hängt von der Erfahrung und dem Wissen des Ingenieurs ab. Als Brücke zwischen diesen beiden Bereichen kann ein anwendungsspezifisches Expertensystem eingesetzt werden, das die *Verbindung von algorithmisch gewonnenen Ergebnissen mit Fach- und Erfahrungswissen* des für ein bestimmtes Problem verantwortlichen Ingenieurs herstellt.

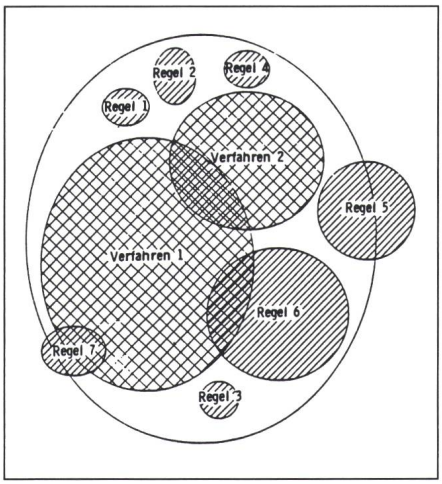


Bild 3 Heuristiken ergänzen Algorithmen

reales Problem
algorithmischer Lösungsansatz
heuristischer Lösungsansatz

Expertensysteme in der elektrischen Energieversorgung zielen darauf, das Wissen und die Erfahrung des Netzbetreibers zu nutzen, um Aufgaben zu lösen, die sich einer algorithmischen Lösung entziehen oder deren mathematischer Lösungsweg in der Praxis nicht brauchbar ist, weil er z.B. keine Lösung innerhalb nützlicher Frist liefert.

In der Vergangenheit wurde die Programmierung von vorher genau definierten Lösungen durch die Formulierung einfacher Algorithmen vorbereitet. Die Steigerung der Leistungsfähigkeit solcher Programme geschieht durch die Verfeinerung der verwendeten Algorithmen und durch die Verwendung leistungsfähigerer Hardware. Die Alternative besteht heute in der Erweiterung der Grenzen verfügbarer Softwarelösungen durch die explizite Beschreibung von weiteren Teillösungen (Bild 3) durch Regeln, z.B. in der Form von «wenn ... dann»-Bedingungen. Diese wurden in der Vergangenheit nicht in der erforderlichen grossen Zahl implementiert, weil sich die Problemlösung auf die Entwicklung möglichst allgemeiner Rechenverfahren konzentrierte. Die bei den resultierenden Computerprogrammen mögliche Leistungssteigerung durch die Verbesserung von Algorithmen und Hardware sowie die subjektive Bevorzugung «sauberer» algorithmischer Lösungen vor heuristischen Verfahren haben den Einsatz von wissensbasierten Systemen bisher als nicht vordringlich erscheinen lassen.

Die Lösung von Teilaufgaben aus einem komplexen Problembereich mit logischen «wenn ... dann»-Regeln ist eine neue Art der Programmierung mit dem Ziel der Optimierung verfügbarer algorithmischer Lösungen und der Automatisierung von Aufgabenstellungen, die bisher der Lösung durch den Menschen vorbehalten waren. Da diese Teillösungen häufig nur als *heuristische Regeln* im Fachwissen von Experten existieren, spricht man bei Systemen, die gerade dieses Wissen zur Lösung von Problemen einsetzen, von Expertensystemen.

Die für Expertensysteme typische *Trennung des Wissens über den Anwendungsbereich und der Anwendung des Wissens* bietet erhebliche Vorteile bei der Erstellung, Modifikation und Verifikation von Expertensystemen. Zudem ermöglicht sie eine sukzessive Akkumulation von Fach- und Erfahrungswissen. Schliesslich erleichtert sie die Systemdokumentation ganz erheblich. Die neuen Programmiersprachen wie Prolog, Lisp, OPS5 u.a. unterstützen diese Trennung vorteilhaft.

Zukünftige Anwendungen werden das Prinzip der Expertensysteme nutzen, um eine Vervielfachung des Wissens zu erreichen, indem sie in der Art einer Mehrbenutzer-Datenbank eine Wissensbank verwalten und diese mehreren Benutzern zugänglich ma-

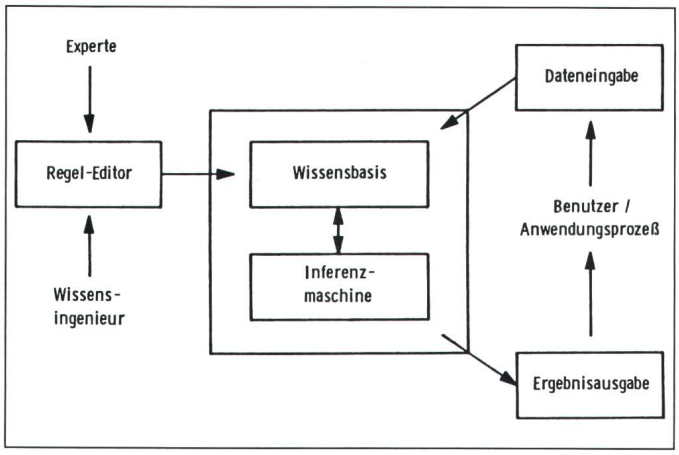


Bild 4
Grundstruktur eines Expertensystems

chen. Dazu ist es erforderlich, die Kompetenz zur Lösung einer vorgegebenen Aufgabe durch das Expertensystem klären zu lassen. Da dabei der Umfang der Wissensbank ausserordentlich stark ansteigt, ist eine *automatische Strukturierung* des gespeicherten Wissens zu entwickeln.

Struktur eines Expertensystems

Die Struktur eines Expertensystems [6] zeigt zwei typische Komponenten: *Wissensbasis* und *Inferenzmaschine*. Bild 4 veranschaulicht den Aufbau eines Expertensystems. Die Notwendigkeit, Wissen in seiner Struktur oder gar Lernprozesse einfach und doch umfassend mit Hilfe eines Regeleditors in der Wissensbasis zu beschreiben, zeigt die Schwierigkeiten, die mit der Realisierung eines Wissensspeichers in einem Rechner verbunden sind. In Expertensystemen sind drei Komponenten des zu verwaltenden und zu nutzenden Wissens zu unterscheiden. Die Wissensbasis setzt sich aus Fachwissen, Fallwissen und Folgerungswissen zusammen.

Das *Fachwissen* umfasst das Wissen aus einem klar abgegrenzten Sachgebiet. Die Eingabe des Wissens geschieht mit Unterstützung eines Experten. Es hat sich gezeigt, dass gerade die Wissensakquisition eine Schwachstelle eines Expertensystems ist. Nicht nur die möglicherweise zeitraubende Eingabe des Regelwerks gibt Probleme auf. Schon die Formulierung von heuristischem Wissen in einfach strukturierte Aussagen bedarf einiger Übung seitens des befragten Experten. Als *Fallwissen* wird die Beschreibung der aktuell bearbeiteten Fragestellung bezeichnet. Die Problembeschreibung mit Mitteln der künstlichen Intelligenz mit Parametern (z.B. Impedanzen) und mit Variablen (z.B. Messwerten) einer Aufgabenstellung zählen zu diesem Bereich. Im Verlauf der Bearbeitung einer Fragestellung erzielt das System Zwischenergebnisse, die als *Folgerungswissen* dem weiteren Analyseprozess als Bestandteil der Wissensbasis zur Verfügung gestellt werden.

Für die *Wissensdarstellung* im Rechner stehen u.a. die folgenden drei Typen zur Verfügung. Die *Wahrheitstafel* mit Hilfe der Booleschen Algebra erlaubt die logische Verknüpfung von binären Teilinformationen in einer Aussage. Bild 5 zeigt als einfaches Beispiel die Verknüpfung von Schutzgeräte-Anregungen zur Fehlerlokalisierung. Die explizite Beschreibung aller zu einem bestimmten Fehler gehörenden Schutzanregungen erlaubt die automatische Auswertung von Fehlermeldungen.

Die *Prädikatenlogik* ist eine leistungsfähigere Form der Wissensdarstellung. Typisch für Aussagen der Prädikatenlogik ist die Trennung der in einer verbalen Behauptung diskutierten Teile aus dem Satz, der ihre Beziehung zueinander klärt. So wird z.B. aus dem Satz: «Der Transformator T2 ist der Blocktransformator von Generator G2» die Aussage

ist Blocktransformator von (T2, G2)

Die Grössen in der Klammer können entweder Variablen oder Parameter sein. Im ersten Fall führt die Prädikatenlogik zu der Menge der möglichen Lösungen; im zweiten Fall führt die Prädikatenlogik zur Aussage «wahr» oder «falsch». Die wichtigste Implementierung der Prädikatenlogik stellt die Sprache Prolog dar.

Die dritte Form der Wissensdarstellung sind die *Produktionsregeln*. Typisch für die Aussagen der Produktionsregeln ist die Bildung von «wenn ... dann»-Strukturen. Eine Produktionsregel generiert dann Ausgangsdaten, wenn alle Voraussetzungen des «Wenn»-Teiles vollständig erfüllt sind. Produktionsregeln arbeiten entweder, bis ein erwarteter Satz von Ausgangswerten erzielt wird, oder bis keine weitere Produktionsregel anwendbar ist. Bild 6 zeigt die Wirkungsweise von Produktionsregeln, indem aus den Eingangsinformationen *a1, a4, a5* und *a7* die Ausgangsdaten *a1, a2, a4, a5, a6, a7, a9* generiert werden. Dabei wird die vierte Produktionsregel nicht aktiviert, da die Aussage *a8* nicht erfüllbar ist.

Nach der Lernphase und der Problembeschreibung besteht die Wissensbasis aus einer Sammlung von Regeln. Die Nutzung dieses Wissens wird erst möglich, wenn Mechanismen verfügbar sind, die die Verknüpfung von gespeicherten Fakten und Regeln automatisieren. Das System dieser Verknüpfungsvorschriften wird als *In-*

SG 7	*SG 8*	*SG 9*	...	*RS 7*	*RS 8*	...	Fehler auf Leitung 123, wenn gilt: *(SG 7* ODER *RS 7)* UND *(SG 8* ODER *RS 8)*
×	×		...			...	Fehler auf Leitung 123
	×		...	×		...	Fehler auf Leitung 123
×			...		×	...	Fehler auf Leitung 123
			...	×	×	...	Fehler auf Leitung 123

Bild 5 Wissensdarstellung mit den Mitteln der Booleschen Algebra
SG 7 Schutzorgan am Beginn einer bestimmten Leitung
SG 8 Schutzorgan am Ende einer bestimmten Leitung
RS i zugehörige Reserveschutzorgane
Die explizite Beschreibung der bei einem bestimmten Fehler erwarteten Schutzreaktionen erlaubt die automatisierte Auswertung von Meldungen.

ferenzmaschine bezeichnet. Abhängig von der festzulegenden Strategie (Vorwärts-, Rückwärtsstrategie u.a.) sucht das System die für den speziellen Fall relevanten Regeln aus der Wissensbasis, um Anfragen des Benutzers zu beantworten. Wie bereits in Bild 6 angedeutet, führt der Inferenzmechanismus auf die in Bild 7 dargestellten Zwischenergebnisse, bevor die von dem Expertensystem möglichen Entscheidungen getroffen werden können.

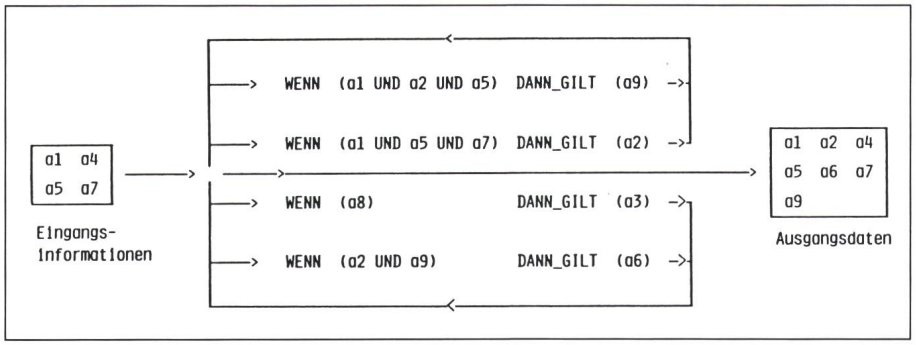


Bild 6 Wissensdarstellung in Form von Produktionsregeln

Typisch für Aussagen der Produktionregeln ist die Bildung von «wenn...dann»-Strukturen. Eine Regel «feuert», d.h. ihre Aussage wird gültig und die zugehörige Aktion wird ausgeführt, wenn ihre Voraussetzungen vollständig erfüllt wurden.

Produktionsregelsysteme arbeiten, bis
(a) ein erwarteter Satz von Ausgangswerten erzielt wurde, oder
(b) keine weitere Produktionsregel anwendbar ist.

Weitere Komponenten des Expertensystems sind (Bild 4):

1. Regeleditor
2. Dateneingabe
3. Ergebnisausgabe

Die Dateneingabe unterstützt den Anwender bei der Problembeschreibung. Dieser Prozess ist dem Vorgang in der Lernphase des Systems vergleichbar. Wichtig ist auch die Erstellung geeigneter Schnittstellen zur Systemdatenbank, um jederzeit auf Prozessdaten zurückgreifen zu können. Jede getroffene Entscheidung wird von dem System auf Wunsch in der *Ergebnisausgabe* begründet. Das Expertensystem stellt dazu die zur Entscheidungsfindung benutzten Regeln in aufbereiteter Form zusammen und gibt sie geeignet aus. Fragen nach dem *Warum* oder nach dem *Wie* gezogener Schlüsse können so jederzeit beantwortet werden.

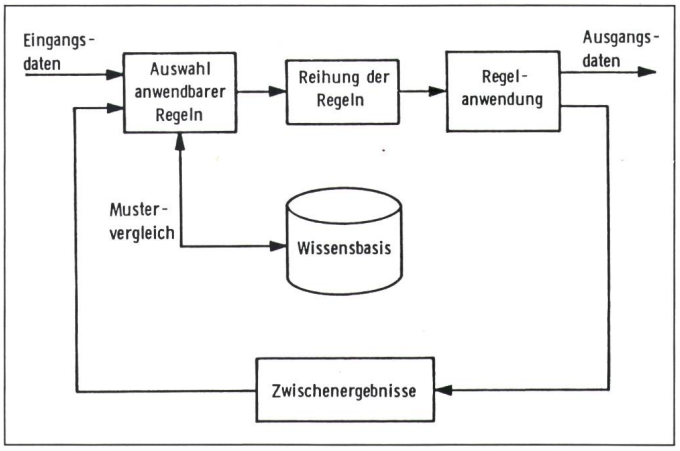
Die Leistungsfähigkeit eines technischen Systems ist stark mit der Verfügbarkeit von *aktuellem Wissen* verknüpft. Erst Schnittstellen zu Datenbanken und Messwertaufnehmer der unterschiedlichsten Art ermöglichen es technischen Systemen, intelligente, d.h. dem aktuellen Betriebszustand angepasste Leistungen zu erbringen.

Über die sensorisch erfassbaren Informationen aus dem Netz hinaus ist die Grundlage intelligenter Lösungen ein *widerspruchsfreies Wissen* aus dem Gebiet der behandelten Problemstellung. Insbesondere auch die Fähigkeiten, Schlüsse aus unvollständigen Daten zu ziehen, frühzeitig nützliche Lösungsansätze zu erkennen oder nicht zuletzt brauchbare *Hypothesen* zu *formulieren*, drücken Wissen aus, dessen Implementierung anzustreben ist.

Datenbanken sind ein klassisches Beispiel für die Implementierung von faktischem Wissen. Ein Mechanismus zur Nutzung des Datenbankwissens ist eine einfache prozedurale Wissensrepräsentation. Anwendungen der künstlichen Intelligenz sind dadurch charakterisiert, dass Problemlösungen nicht allein durch das Auffinden faktischen Wissens zu erhalten sind. Der Grund liegt erstens in der Komplexität der Aufgabenstellung; d.h. ein entsprechendes Regelwerk würde viel zu umfangreich; zweitens in dem Umstand, dass die Datenbank Elemente enthalten müsste, die zum Zeitpunkt der Aufstellung des Lösungsverfahrens nicht bekannt sind. Es ist gerade die Ableitung neuer Fakten (Folgerungswissen) mittels vorhandenen Wissens und aktueller Daten, die die Nutzung wissensbasierter Systeme charakterisiert.

Die rechnertaugliche Formulierung des zum Zeitpunkt der Lösungserstellung verfügbaren, z.T. heuristischen Wissens ist wesentlicher Bestandteil der Erstellung eines intelligenten Problemlösungsmechanismus (Knowledge Engineering). Dabei liegt die Frage zugrunde, welche Verfahren der Wissensdarstellung und welche Form der Inferenzfolgerung für eine gegebene Aufgabenstellung geeignet sind. Der Schwerpunkt liegt in der Wahl des richtigen Formalismus und dessen Anpassung an die spezifischen Besonderheiten des Anwendungsfalles. Die Entscheidung über die Darstellung des Wissens und das Verfahren der Inferenz sind massgeblich dafür verantwortlich, ob ein Expertensystem

Bild 7 Inferenzmechanismus zur Auswertung von Produktionsregeln



brauchbare Lösungen liefert oder nicht.

Möglichkeiten und Grenzen eines Expertensystems

Drei wichtige Eigenschaften eines Expertensystems werden hier am Beispiel einer praktischen Nutzanwendung veranschaulicht:

- Datenbankeigenschaften (objektorientierte Programmierung)
- Heuristikfähigkeit
- Erklärungsfähigkeit

Ein wichtiger Vertreter der neuen Programmiersprachen für Expertensysteme (Prolog) stellt mit seinem Sprachkonzept selbst eine *relationale Datenbank* dar, so dass beliebige Datenstrukturen vom Benutzer definiert werden können. Der Zugriff auf die gespeicherten Informationen ist einfach und komfortabel. Die Informationsbasis kann so eingerichtet werden, dass Sachverhalte nur dann erhoben werden, wenn sie benötigt werden. Diese Vorteile der Datenverwaltung innerhalb deklarativer Programmiersprachen erlauben die übersichtliche Darstellung z.B. elektrischer Betriebsmittel mit ihren zugehörigen statischen und dynamischen Kenndaten und Messwerten. Die automatische Grenzwertüberwachung für einzelne dieser Daten ist leicht realisierbar. Die Tatsache, dass auf einer ensprechenden Informationsdarstellung aufbauende Funktionen ganze Informationsblöcke beliebiger Struktur und Bedeutung, sogenannte Objekte, handhaben, begründet die Bezeichnung der *objektorientierten Programmierung*.

Die Erstellung algorithmischer Programme setzt eine homogene Beschreibung des Problems, z.B. mit algebraischen Gleichungen, voraus. In einem solchen Programm wäre eine grosse Zahl logischer *«wenn ... dann»-Regeln* sehr nachteilig. Die Möglichkeiten der künstlichen Intelligenz unterstützen demgegenüber den Einsatz der im obigen Abschnitt beschriebenen Wissensdarstellung. Diese Eigenschaft erweist sich für die bei der Programmierung von Expertenwissen häufig erforderlichen Erweiterungen oder Modifikationen des Gesamtsystems als sehr vorteilhaft.

Eine sehr wichtige Eigenschaft der Formulierung von Computerlösungen durch die Beschreibung von Teillösungen ist die Tatsache, dass gefundene Entscheidungen durch das System unter Hinweis auf die zur Lösung einer Aufgabe genutzten Regeln begründet werden können. Die *Erklärungsfähigkeit* deklarativer Programme ist eine direkte Konsequenz der expliziten Beschreibung programmierten Wissens in Expertensystemen. Demgegenüber ist das Ergebnis eines algorithmischen Programms wegen des dabei verwendeten impliziten Wissens ausschliesslich durch den Programmierer zu begründen. In dem benutzerorientierten Anwendungsfall eines den Experten unterstützenden Systems wird die Möglichkeit zum Hinterfragen gefundener Resultate das Vertrauen des Anwenders in die gefundenen Ergebnisse erheblich erhöhen.

Als Grenzen eines Expertensystems sind aus heutiger Sicht zu nennen:

1. Begrenzte Möglichkeiten für numerische Berechnungen
2. Schnittstelle zu algorithmischen Verfahren ist z.T. aufwendig
3. Ausführung ist oft sehr langsam
4. Speicheranforderungen sind erheblich
5. Ausführungsgeschwindigkeit ist stark von Implementierung abhängig
6. Vollständigkeit, Genauigkeit und Widerspruchsfreiheit der Wissensbasis ist u.U. problematisch

Die Nachteile gelten vor allem für die zwar komfortablen, aber oft schwerfälligen Expertensystem-Shells.

Anwendungen

Mit dem Ziel einer Abgrenzung der möglichen *energietechnischen Anwendungsgebiete* für Expertensysteme ist die Unterteilung der Problemstellungen in logische und algorithmische Aufgabenbereiche zweckmässig:

- algorithmische Aufgabenbereiche
  numerische Problemstellungen
  einfach zu beschreibende (bekannte) Lösungswege
  iterative/rekursive Lösungen
- logisch bestimmte Aufgabenbereiche
  kombinatorische Probleme
  topologische Probleme
  Suchprobleme (Suche in einem nichtnumerischen Lösungsraum)

Ausgehend von der Vorstellung, dass zukünftig Expertensysteme überall dort zum Einsatz kommen können, wo heute der für Planung oder Betrieb verantwortliche Ingenieur interpretierend, bewertend oder kombinierend tätig sein muss, eröffnen sich in dem Bereich vorwiegend *logisch bestimmter Aufgabenbereiche* der elektrischen Energieversorgung eine Vielzahl potentieller Anwendungsgebiete [3, 5].

Fasst man den *Stand der Technik* von Expertensystemen für die Energieversorgung zusammen, so sind wesentliche Beiträge bisher für folgende Aufgaben erarbeitet worden [4]:

1. Verarbeitung von Alarmmeldungen und Fehlerdiagnose
2. Stationäre und dynamische Netz-Sicherheitsbewertung
3. Netzwiederaufbau
4. Massnahmen für korrektive und präventive Betriebsführung
5. Ergebnisauswertung für die Betriebsführung
6. Überwachung von Unterstationen
7. Vorausschauende Wartungsplanung

Abschliessende Bemerkungen

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass Expertensysteme interessante neue Möglichkeiten im Bereich Planung und Betrieb elektrischer Energieversorgungsnetze eröffnen. Bei der Entwicklung neuer Anwendungen sind die drei folgenden Stufen zu durchlaufen:

1. Erstellung eines Prototyps für die zu lösende Aufgabe
2. Integration des Prototyps in das Planungs- oder Betriebsführungssystem
3. Wartung und Erweiterung des Expertensystems

Auf dem Gebiet der ingenieurwissenschaftlichen Anwendungen von Expertensystemen sind noch erhebliche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erforderlich. Sie lassen sich in die folgenden drei Gruppen einteilen:

1. Pflege und Erweiterung grosser Wissensbasen
2. Echtzeitverhalten technisch brauchbarer Expertensysteme
3. Automatischer Wissenserwerb

Bei der Lösung dieser Aufgaben ist die zeitliche Unterteilung in Forschung und spätere praktische Anwendung nicht sinnvoll. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Entwicklern und Anwendern ist im Bereich der Expertensysteme unerlässlich. Die Arbeiten an Teilaufgaben wie z.B. dem Problem der Wissensrepräsentationsformen oder am Problem einer Vereinheitlichung von Schnittstellen oder Daten-

formaten müssen koordiniert und unter Einbeziehung des Sachverstands aller Beteiligten bearbeitet werden, um für die Praxis brauchbare Expertensysteme entwickeln zu können.

Das Gebiet der Expertensysteme hat sich in den letzten Jahren rasch entwikkelt und den Ingenieurwissenschaften neue, interessante Möglichkeiten eröffnet. Für energietechnische Anwendungen müssen die bisher vorliegenden Ergebnisse bewertet und unter Einsatz des fachspezifischen Expertenwissens weiterentwickelt werden. Anforderungen, die sich aus der Umsetzung neuer Techniken auf für die Praxis relevante Aufgabenstellungen ergeben, sind herauszuarbeiten und durch originäre, eigene Beiträge zu erfüllen. Nur so lassen sich konkrete, in der Technik anwendbare Lösungen ableiten, die in die Praxis Eingang finden. Ein Grundverständnis für Aufbau und Funktion von Expertensystemen ist die Voraussetzung dafür, potentielle Anwendungsgebiete für wissensbasierte Systeme derart aufzubereiten, dass effektive Anwendungen entstehen können. Für die Bewertung von Expertensystemen mögen folgende Gesichtspunkte nützlich sein.

Die künstliche Intelligenz hat durch die Entwicklung neuer Sprachen und Konzepte der Wissensdarstellung einen Umdenkungsprozess bei der Programmentwicklung initiiert. Mit der Verwendbarkeit prädikativer, regelbasierter oder objektorientierter Programmiersprachen stehen gleichberechtigte Alternativen zur ablaufgetreuen Beschreibung des Lösungsweges mittels algorithmischer Programmierung zur Verfügung.

Expertensysteme sind nicht als Konkurrenz, sondern als Erweiterung und Ergänzung traditioneller, algorithmischer Lösungen zu sehen. Sie finden ihre Aufgabengebiete da, wo bisher keine oder nicht voll befriedigende algorithmische Lösungen verfügbar waren. Der Einsatz eines wissensbasierten Systems kann deshalb die Möglichkeiten der heutigen Netzleittechnik erheblich ausweiten. Vor übertriebenen Erwartungen muss jedoch gewarnt werden, da noch erhebliche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten geleistet werden müssen.

Bei der Realisierung wissensbasierter Systeme geht der Weg zur praktischen Anwendung vorteilhaft zunächst über eine additive Hardwarekomponente, die über ein geeignetes Interface ihre Daten aus dem Netz bezieht. Im Sinne des Zusammenschlusses dezentral entwickelter wissensbasierter Systeme für spezielle Aufgaben zu einer allgemeinverwendbaren Lösung ist eine Harmonisierung der Schnittstellen zwingend erforderlich.

Die enge Zusammenarbeit zwischen den EVU, der Industrie und den Forschungsinstitutionen ist bei der Erstellung wissensbasierter Systeme für die elektrische Energieversorgung in besonderem Masse erforderlich. Nur die Inbetriebnahme von an der energietechnischen Praxis orientierten, wissensbasierten Systemen kann die Kritiker von Expertensystemen überzeugen.

Literatur

[1] *G. Brauner:* Expertensystem für Ingenieuraufgaben in der elektrischen Energieversorgung. Elektrizitätswirtschaft 87(1988)1, S. 38...42.

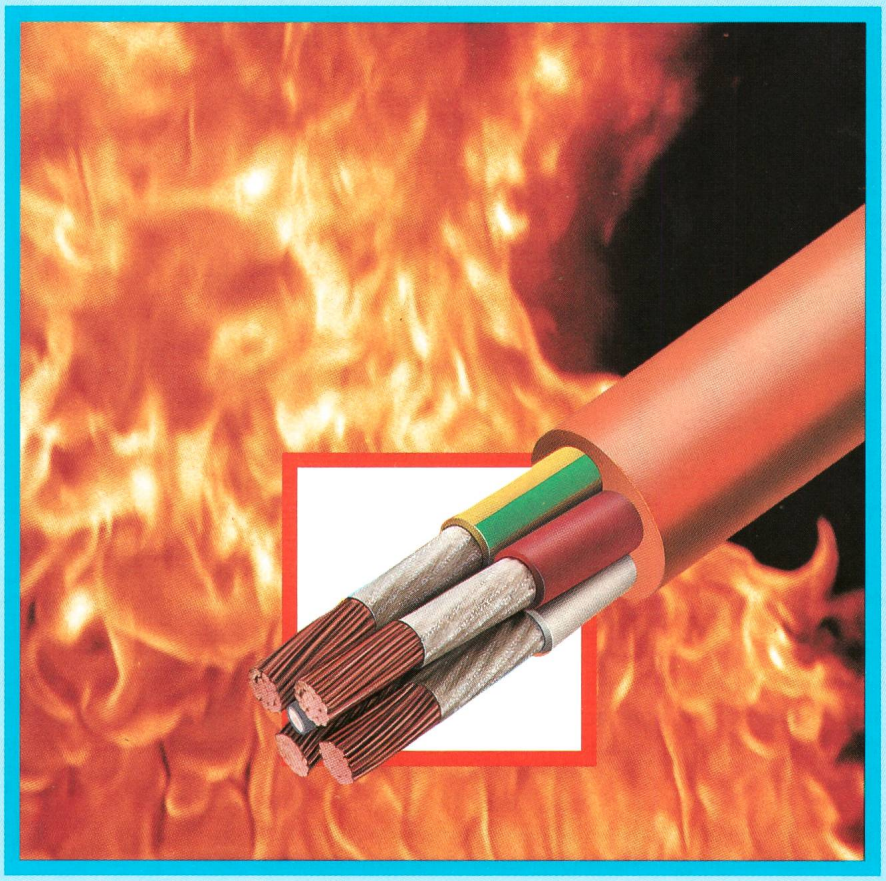
[2] *R. Christie* a. o.: Computational sandwiches for static security assessment. Symposium on Expert Systems Application to Power Systems; Stockholm-Helsinki, August 22...26, 1988.

[3] An international survey of the present status and the perspectives of expert systems on power system analysis and techniques. CIGRE Working Group 38-02, task force 07, final report. Paris, CIGRE, March, 1988.

[4] International symposium for demonstrations of expert system applications to the power industry. May 7...12, 1989, Montreal Canada.

[5] *G. U. Knight:* Expert Systems in power system planning and operation from the viewpoint of an utility engineer. Proceedings of the ninth Power System Computation Conference, Cascais/Portugal, 30 August ... 4 September 1987; p. 687...694.

[6] *F. Puppe:* Expertensysteme. Informatik Spektrum 9(1986).



Im Brandfall während 3 Stunden voll funktionsfähig:

RADOX TYP FR FEUERBESTÄNDIGE KABEL

Feueralarmsysteme, Notbeleuchtungen, Ventilationen, Aufzüge und Kommunikationssysteme haben besonders im Katastrophenfall lebenswichtige Funktionen zu erfüllen. Feuerbeständige RADOX-Kabel Typ FR, mit einer kombinierten Flammbarriere, sind halogenfrei und funktionieren auch im Brandfall noch während vollen 3 Stunden absolut zuverlässig.

Verlangen Sie unsere Dokumentation über RADOX-Sicherheitskabel.

HUBER+SUHNER AG

Geschäftsbereich Kabel
CH-8330 Pfäffikon/ZH
☎ 01 952 22 11
CH-9100 Herisau
☎ 071 53 41 11