

## Expertensysteme und andere Modelle der künstlichen Intelligenz in der Medizin

M. Ledochowski\*, K. Leidlmair\*\*, J. Schönegger\*\*\* und P. Kaser\*\*\*

\* Ärztliche Direktion der Universitätskliniken Innsbruck

\*\* Rechenzentrum der Universität Innsbruck

\*\*\* Tiroler Arbeitskreis für Künstliche Intelligenz der Universität Innsbruck

**Zusammenfassung.** Expertensysteme und andere Methoden der Künstlichen Intelligenz nehmen immer mehr Einzug in medizinische Bereiche. Expertensysteme sind definiert als "Computerprogramme, die Problemstellungen in einer einem Experten vergleichbaren Performanz lösen können (Buchberger 1987)." Neben Entwicklungen an Universitäten, die hauptsächlich wissenschaftlichen Charakter haben, werden nun auch Expertensysteme von kommerzieller Seite angeboten. Welche Methoden der Künstlichen Intelligenz in der Medizin Einzug gefunden haben und was von ihnen zu erwarten ist, wird in der folgenden Arbeit diskutiert.

**Schlüsselwörter:** Künstliche Intelligenz, Expertensysteme, Neurale Netzwerke, Konnektionismus

### Einleitung

Es ist ein alter Wunsch der Menschheit, Denkvorgänge von Maschinen ausführen zu lassen. Konkrete Chancen auf eine Realisierung dieses Wunsches haben sich aber erst mit dem Computerzeitalter ergeben. Durch die rasante Entwicklung der Computertechnologie ist in den letzten Jahrzehnten eine Wissenschaft entstanden, die sich, aus Amerika kommend, als "artificial intelligence (AI)" bezeichnete. Die deutsche Übersetzung dieses Ausdrucks mit "Künstlicher Intelligenz (KI)" trifft nicht ganz die ursprüngliche Bezeichnung. Allein die Bezeichnung des "Central intelligence agency (CIA)" zeigt uns, daß der deutsche Begriff "Intelligenz" weitaus höherwertige Leistungen impliziert, als das bei dem englischen Wort "intelligence" der Fall ist. Das Fachgebiet der Künstlichen Intelligenz ist nicht genau abgegrenzt. Wahrscheinlich gibt es nahezu so viele Auffassungen oder Definitionen der KI, wie es Menschen gibt, die sich damit beschäftigen. Das Spektrum der Vorstellungen, die dem Begriff KI subsumiert werden, reicht von sogenannten Expertensystemen (siehe unten) bis zu dem

Glauben, daß Computer im Prinzip Bewußtsein entwickeln können. Bei den Informatikern grenzt sich jedoch das Gebiet der KI immer genauer ab und umfaßt folgende Gebiete:

- Natürliche Spracherkennung,
- Sprachein- und ausgabe,
- Bildererkennung,
- Sensorik,
- Robotics,
- Expertensysteme,
- Konnektionismus u.a.

Für die Medizin sind zum jetzigen Zeitpunkt vor allem die letzten beiden Gebiete von Bedeutung. Expertensysteme sind Computerprogramme, mit deren Hilfe Aufgaben gelöst werden können, die normalerweise das Wissen eines Experten auf dem jeweiligen Gebiet voraussetzen (de Vries & de Vries-Robbé 1985). Konnektionismus ist der Versuch, auf der Basis eines neuronalen Netzwerkes ein System zu erstellen, welches in der Lage ist, selbständig zu lernen und Aufgaben zu lösen. Dieses auch als "neural computing" bezeichnete Gebiet nimmt sich die Natur zum Vorbild, indem es ähnlich dem ZNS ein "Nervensystem" modelliert. Durch Konfrontation mit äußeren Reizen sind solche Systeme "lernfähig" und Gelerntes kann zu einem späteren Zeitpunkt wiederum abgerufen werden. Nach dieser kurzen Einführung möchten wir zunächst eine Übersicht über den derzeitigen Stand medizinischer Expertensysteme geben.

### Expertensysteme

Expertensysteme sind definiert als "Computerprogramme, die Problemstellungen in einer einem Experten vergleichbaren Performanz lösen können, insbesondere in Bereichen, in denen langjährige Erfahrung zur Lösung

von Aufgaben benötigt werden" (Buchberger 1987).

Eine der Hochburgen auf dem Gebiet der medizinischen KI ist die Arbeitsgruppe von Shortliffe an der Universität von Stanford. Die ersten funktionierenden medizinischen Expertensysteme sind dort entstanden. Der Vorläufer der meisten dort entwickelten Expertensysteme war MYCIN (Shortliffe et al. 1976, van Melle 1978). Mit diesem Programm kann der Arzt durch Fragen, die vom Computer gestellt werden, die Auswahl des geeignetsten Antibiotikums für einen gegebenen Fall finden. Anhand der eingegebenen Daten (klinische Symptomatik, Geschlecht des Patienten, Lokalisation des Infektes, Begleiterscheinungen, Antibiotogramm falls vorhanden etc.) wird eine Reihe der wahrscheinlichen Erreger aufgelistet und ein Therapievorschlagn gegeben. In einer vergleichenden Studie des Expertensystems versus Experten auf dem Gebiet der Mikrobiologie lag die Akzeptanz des Systems von den Experten bei 42-62%, obwohl das System in keinem Fall einen falschen Therapievorschlagn gab (Yu et al. 1979).

Die Entwicklung eines solchen Expertensystems nahm ca. 20 Mannjahre in Anspruch. Um die Entwicklung weiterer Expertensysteme zu beschleunigen, nahm man die Wissensbasis aus dem Programm MYCIN heraus und entwickelte mit dem überbleibenden Rest ein Expertensystem-shell namen EMYCIN (essential mycin). Mit dieser "Schale" wurden ebenfalls in Stanford die Expertensysteme ONCOCIN und PUFF entwickelt. Die Entwicklung der beiden letzteren Expertensysteme nahm "nur" ca. 5 Mannjahre in Anspruch. ONCOCIN ist ein onkologisches Beratungssystem (Shortliffe et al. 1984) und PUFF ein Expertensystem zur Interpretation von Lungenfunktionsprüfungen. In einer vergleichenden Studie ging die Empfehlung von ONCOCIN in 189 von 415 Fällen (45,5%) mit den Empfehlungen von Onkologen einer Universitätsklinik konform (Hickam et al. 1985). Ein Benutzer von PUFF sagte, daß PUFF zwar nicht die Befunde der Lungenfunktion komplett übernehmen kann, aber ca. 65% der trivialen Fälle herausfiltert und dem Arzt so mehr Zeit für die Bewertung anspruchsvollerer Befunde läßt (persönl. Mitteilung).

Ehrgeizigere Projekte auf dem Gebiet der Medizinischen Expertensysteme stellen INTERNIST-I (Miller, Pople & Myers 1982) und CADIAG II (Adlassnig et al. 1985) dar, die Expertenwissen über das gesamte Gebiet der inneren Medizin repräsentieren sollen. Das Programm INTERNIST-I wurde an Hand von 19 Fällen der "Case Records of the Massachusetts General Hospital" aus dem New England Journal of Medicine, überprüft. Von 43 möglichen Diagnosen wurden vom Expertensystem 17 Diagnosen richtig und 8 Diagnosen fast richtig gestellt. Eine Weiterentwicklung von Expertensystemen stellt CADIAG-II dar, welches die Darstellung "ungenau abgrenzbarer medizinischer Entitäten" als "fuzzy Mengen" (Zadeh 1965) erlaubt. Damit wurde der Unschärfe im Wissen bei medizinischen Beziehungen Rechnung

getragen. Wissensbasen für dieses Expertensystem wurden auf dem Gebiet der Rheumatologie sowie bei Pankreaserkrankungen erstellt. Die Trefferquote bei klinischen Prüfungen lag bei 81% bzw. 91% (Adlassnig, Kolarz & Scheitauer 1985).

### Konnektionismus

Bei sogenannten konnektionistischen Systemen gibt der Programmierer nicht mehr explizite Regeln in das System ein, sondern baut vielmehr ein neuronales Netzwerk auf, welches durch die Art seines architektonischen Aufbaues (Netzwerkstruktur, Struktur der Verarbeitungselemente, Art der Aktivierungszustände, Art der Eingabe- Ausgabe- Propagierungs- und Ausgabe-funktion etc.) unterschiedliche Lerneigenschaften aufweist (Kemke 1988). Einem solchen System kann in einer Lernphase, durch Anbieten von Eingabemustern (z.B. Befunden) und der dazugehörigen Ausgabemuster (z.B. Diagnosen) an Hand von konkreten Beispielen, Wissen angeboten werden. Das System generiert sich durch Veränderung seiner numerischen Gewichtungen an den "Synapsen" des neuronalen Netzwerkes die dazugehörigen "Regeln" selber. Zu einem späteren Zeitpunkt kann dann ein anderer Arzt sich dieses Wissen zu Nutze machen, indem er ein Eingabemuster (in diesem Fall Befunde) eingibt und sich vom System ein entsprechendes Ausgabemuster (hier Diagnose) generieren läßt.

Die Wissensbasis in einem solchen System ist auf das ganze Netzwerk verteilt und in Form von synaptischen Gewichtungsfaktoren gespeichert. Dies hat den Vorteil, daß auch das Anbieten von ungenauer Information, wie es ja in der Medizin häufig vorkommt, verarbeitet werden kann. Durch Aktivierung von Recheneinheiten die in der Lernphase durch ein ähnliches Eingabemuster gebahnt wurden, wird bei einer späteren Abfrage ein analoges Ausgabemuster generiert. Ähnlich wie dies im Gehirn eines Lebewesen geschieht.

Zum Unterschied von traditionellen Expertensystemen wird bei konnektionistischen Systemen die Information nicht auf symbolischer Ebene, sondern auf "sub-symbolischer Ebene" verarbeitet. D.h., die Informationsverarbeitung erfolgt nicht nach faßbaren Regeln, die von einem Programmierer oder Wissensingenieur eingegeben wurden, sondern erfolgt durch eine Vielzahl sehr einfacher Prozessoren, die funktionell ähnliche Aufgaben wie die Neuronen des Gehirns übernehmen. Die Information wird in diesen einfachen Prozessoren (den Neuronen) parallel abgearbeitet, woher auch die Bezeichnung (Parallel distributed Processing" (PDP) kommt. Dies ermöglicht eine raschere Verarbeitung von komplexen Mustern, und vor allem auch die Verarbeitung von unscharfen bzw. inkompletten Mustern oder sogar Musterfragmenten. Für klinische Fragestellungen

ist dies von großer Bedeutung, da in der Praxis selten vollkommene Datensätze die ein Krankheitsbild beschreiben können, vorhanden sind.

Herkömmliche Expertensysteme verarbeiten explizit eingegebene heuristische Regeln. Bei PDP-Modellen wird ein "Rechengleichgewicht" erlangt und nach Erreichen dieses Gleichgewichtszustandes das Ergebnis ausgegeben. D.h. mit anderen Worten, ein solches Programm kommt ähnlich einer chemischen Reaktion nie zu einem wirklichen Ende, sondern erreicht eine Art thermodynamisches Gleichgewicht. Beispiele solcher thermodynamischer konnektionistischer Modelle sind die Boltzmann-Maschine von Hinton (Ackley, Hinton & Sejnowski 1984) und das Hopfield-Modell (Hopfield & Tank 1985). Ein Beispiel für eine praktische medizinische Anwendung auf der Basis eines neuronalen Netzwerkes findet sich bei Porenta und Mitarbeiter (1988). Weitere Einzelheiten über die Entwicklung von Wissensbasen mit Hilfe konnektionistischer Modelle finden sich bei Gallant (1988).

## Diskussion

Zweifellos wird es nur eine Frage der Zeit sein, daß Methoden der KI in der Medizin Einzug halten werden. Wissensverarbeitung ist nicht ein Privileg der Informatiker. Gerade die Medizin hat eine eigene Art der Wissensverarbeitung, die sehr von subjektiver Erfahrung geprägt ist. Es liegt demnach nahe, daß sich der Arzt selber um die automatisierte Form der Wissensverarbeitung kümmert und dies nicht den Informatikern allein überläßt.

Trotz der teilweise beeindruckenden Erfolge einiger medizinischer Expertensysteme, sind sie doch alle von einer Reihe von Unzulänglichkeiten behaftet, die ihren Einsatz in der ärztlichen Praxis meist nicht gerechtfertigt erscheinen lassen. Zunächst gibt es keinen Experten der für sich beanspruchen kann, daß sein Wissen das allein Richtige ist. Somit ist die Erstellung einer Wissensbasis von persönlich gefärbten Charakter, und kann deshalb nur von regionaler Gültigkeit sein. In der Regel findet sich bei der Erstellung eines Expertensystems zwischen dem Experten und dem Programmierer ein sogenannter "Knowledge engineer", dessen Aufgabe es ist, das Wissen des Experten so in Regeln zu fassen, daß diese auch in einem Programm übernommen werden können. Dabei stellt sich heraus, daß die Experten selber Inkonsistenzen in ihrem Wissen haben und ihr Wissen meist nicht in Regeln fassen können. Ja es ist sogar ein Zeichen der Expertise, daß der Experte selber nicht mehr nach Regeln unterscheidet, sondern "ganzheitliche Muster" erkennt (Dreyfuß & Dreyfuß 1987). Die Entscheidungsfindung nach Regeln (klinischen Algorithmen) ist mehr die Domäne des fortgeschrittenen Anfängers (Dreyfuß & Dreyfuß 1987). Die regelbasierte Verarbei-

tung von Wissen auf Computern ist nur für abgegrenzte Bereiche der Medizin möglich. Ein schönes Beispiel für ein solches Expertensystem, welches sich bereits im praktischen Einsatz bewährt hat ist HEPAXPERT-I (Adlassnig & Horak 1989). Dieses Expertensystem erstellt eine vollautomatische Interpretation von Hepatitis-A und Hepatitis-B Serologiebefunden.

Ein weiteres Problem sind die Entwicklungskosten und Entwicklungszeiten. Auch mit dem Einsatz moderner "Expert-system-shells" ist der Entwicklungsaufwand sehr groß. Die von den Anbietern von Expertensystem-shells immer wieder gemachten Äußerungen, daß die Erstellung eines Expertensystems durch den Experten selber vorgenommen werden kann und der Experte sein Wissen nur mehr in den Computer "hineinzugeben" hat, entspricht nicht unseren Erfahrungen. Nach unseren eigenen Erfahrungen kann ein Arzt mit durchschnittlichen Computer- und Programmierkenntnissen erst nach mehrmonatiger Einarbeitungszeit mit einer Expert-system-shell arbeiten. Man wird also als Experte in der Regel nicht um die Mitarbeit eines professionellen Programmierers herum kommen.

Um mit dem Umgang von kommerziell erhältlichen Shells Erfahrung zu sammeln, haben wir selber ein kleines Expertensystem mit der Expertensystem Shell KES erstellt. Selbst bei dem kleinen abgeschlossenen Thema, welches wir gewählt haben (Schönegger, Ledochowski & Leidlmair 1988), stießen wir auf Inkonsistenzen und teilweise Unformulierbarkeit der Regeln, so daß Abstriche in der Konstruktion der Wissensbasis gemacht werden mußten. Aus dieser Erfahrung scheint uns eine korrekte regelbasierte Wissenserfassung von medizinischen Problemen ein möglicherweise unlösbares Problem zu sein. Zudem ist die Wissensbasis zum Zeitpunkt der Fertigstellung oft wieder veraltet und wie gesagt, ganz vom subjektiven Empfinden des Experten abhängig. Der Einbau neuer Regeln auf Grund neuerer Erkenntnisse ist oft mit einer Umstrukturierung des gesamten Systems verbunden und somit sehr arbeitsaufwendig. Expertensysteme sind also relativ starr. Schließlich ist die Benutzung eines Expertensystems durch die interaktive Abfrage zeitaufwendig, und für die Praxis inakzeptabel. Das Nachschlagen in einem Fachbuch oder der Anruf bei einem Experten wird den Arzt noch schneller zu einer besseren Lösung führen, als die Benutzung eines Expertensystems.

Demgegenüber sind die Ergebnisse und Erfahrungen auf dem Gebiet des sogenannten Konnektionismus vielversprechend. Die Entwicklung auf diesem Gebiet steht jedoch noch in den Anfängen. Funktionierende konnektionistische Modelle auf dem Gebiet der Medizin gibt es kaum.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß herkömmliche Expertensysteme aufwendig in der Erstellung sind. Für medizinisch-klinische Anwendungen sind sie weniger geeignet, da biologische Probleme fast

nicht in eindeutig formulierbare Regeln zu fassen sind. Außerdem wäre durch den raschen Informationszuwachs in der Medizin eine ständige Adaption der Expertensysteme notwendig. Für den medizinisch-technischen Bereich (z.B. Wartung von medizinischen Geräten) könnten Expertensysteme trotz der relativ starren Wissensbasen jedoch von Nutzen sein, da hier meist eindeutig formulierbare Regeln aufzustellen sind und der Wissenszuwachs auf die jeweilige Anwendung des Expertensystems kaum Einfluß hat. Neuronale Netzwerke stellen einen interessanten Ansatz zur Wissensverarbeitung in der Medizin dar, es bleibt jedoch offen, ob die gestellten Erwartungen nach praktischen Tests auch noch erfüllt werden können.

## Literatur

- Ackley DH, Hinton GE, Sejnowski TJ (1984) A learning algorithm for Boltzmann machines. *Cognitive Science* 9:147-169
- Adlassnig KP, Horak W (1989) HEPAXPERT-I: Ein medizinisches Expertensystem zur automatischen Interpretation von Hepatitis A und B Serologie Befunden im Routinebetrieb am Allgemeinen Krankenhaus Wien. *ÖGAI-Journal* 4:11-14
- Adlassnig KP, Kolarz G, Scheitauer W, Effenberger H, Grabner G (1985) CADIAG: Approaches to computer-assisted medical diagnosis. *Comput Biol Med* 15:315-335
- Adlassnig KP, Kolarz G, Scheitauer W (1985) Present state of the medical expert system CADIAG-2. *Meth Inform Med* 24:13-20
- Buchberger E (1987) AI-Dictionary. Schriftenreihe der Österr. Gesellschaft für artificial intelligence, Band 1, Wien
- Dreyfus HL, Dreyfus SE (1987) Künstliche Intelligenz. Reinbek
- Gallant SI (1988) Connectionist expert systems. *Communications ACM* 31:152-169
- Hickam DH, Shortliffe EH, Bischoff MB, Scott AC, Jacobs CD (1985) The treatment advice of a computer-based cancer chemotherapy protocol advisor. *Ann Intern Med* 103:928-936
- Hopfield JJ, Tank DW (1985) "Neural" computation of decisions in optimization problems. *Biol Cybern* 52:141-152
- Kemke Ch (1988) Der neuere Konnektionismus: Ein Überblick. *Infomatik-Spektrum* 11: 3
- van Melle W (1978) MYCIN: a knowledge-based consultation program for infectious disease diagnosis. *Int J Man-Machine Studies* 10:313-322
- Miller RA, Pople HE, Myers JD (1982) INTERNIST-I an experimental computer-based diagnostic consultant for general internal medicine. *N Eng J Med* 307:468-476
- Porenta G, Dorffner G, Schedlmayer J, Sochor H (1988) Parallel distributed processing as a decision support approach in the analysis of thallium-201 scintigrams. *Proceedings Computers in Cardiology, IEEE Washington*
- Schönegger J, Ledochowski M, Leidlmair K (1988) An expert system to optimize the choice of contraceptive methods. *Comput Meth Programs Biomed* 27:197
- Shortliffe EH, Axline SG, Buchanan BG, Davis R, Cohen SN (1976) A computer based approach to the promotion of rational clinical use of antimicrobials. In: Gouveia, Tagoni, van der Kleijn (eds) *Clinical pharmacy and clinical pharmacology*
- Shortliffe EH, Scott AC, Bischoff MB, Campbell AB, van Melle W, Jacobs CD (1984) ONCOCIN: An expert system for oncology protocol management. In: Buchanan BG, Shortliffe EH (eds) *Rule based expert systems: the MYCIN experiments of the Stanford Heuristic Programming Project*. Addison-Wesley, Reading
- de Vries PH, de Vries-Robbé PF (1985) An overview of medical expert systems. *Meth Inform Med* 24:57-64
- Yu VL, Fagan LM, Wraith SM et al. (1979) Antimicrobial selection by a computer. *JAMA* 242:1279-1282
- Zadeh LA (1965) Fuzzy sets. *Inform Control* 8:338-353

Dr. M. Ledochowski  
 Ärztliche Direktion  
 A.ö. Landeskrankenhaus (Universitätskliniken)  
 Anichstraße 35  
 A-6020 Innsbruck