

Medizinische Expertensysteme — Eine kritische Betrachtung

Johann Gamper und Friedrich Steimann

1 Einleitung

Es ist bereits etliche Jahre her, daß der Begriff des Expertensystems von sich reden machte. Damals sollten Computersysteme geschaffen werden, die nicht nur Information verwalten, sondern selbständig mit ihr umgehen können. Dieser selbständige Umgang sollte für den Betrachter intelligent erscheinen. Technisch sollte er auf der Grundlage formaler Logik, wenn nötig um Aspekte wie Zeit und Unsicherheit ergänzt, erfolgen. Damit wurde eine neue Forschungsrichtung, die der Künstlichen Intelligenz, geboren. In den Projektanträgen der Forscher standen damals unter anderem Systeme, die mathematische Theoreme beweisen können, solche, die natürliche Sprache übersetzen können, und auch solche, die dem Arzt bei seiner täglichen Routine aktiv unterstützen und bei seltenen Problemen mit dem Wissen und der Erfahrung eines Experten zur Seite stehen können. In jeder Hinsicht ein hochgestecktes Ziel, wie sich inzwischen herausgestellt hat.

Die Entwicklung medizinischer Expertensysteme hat dabei stets zwei Zwecken gedient: zum einen natürlich der Unterstützung und Verbesserung ärztlicher Leistung, zum anderen aber auch der Exploration der Möglichkeiten der Künstlichen Intelligenz, insbesondere in Bezug auf die Formalisierung und Anwendung menschlichen Fachwissens. Daß sich die Informatik gerade die Medizin gern als Anwendungsgebiet für entsprechende Forschungen auswählt, hat mehrere Gründe:

- Die Medizin ist für die Informatik eine fremde Welt, in der sich Experten und Expertenwissen leicht identifizieren lassen.
- Die Medizin verfügt über scheinbar gut abgegrenzte Aufgabenbereiche.
- Die Unsicherheit des Wissens, eine schwach ausgeprägte Systematik (im Vergleich zu den exakten Natur- und Ingenieurwissenschaften) sowie die Komplexität und Vielfältigkeit des Wissens lassen nahezu alle entwickelten formalen Ansätze zum Einsatz kommen.

Heute, knapp drei Jahrzehnte nach den ersten medizinischen Expertensystemen, ist zwar viel darüber publiziert worden, es befinden sich jedoch nur wenige im routinemäßigen Einsatz — ein Umstand, der der Erklärung bedarf.

2 Expertensysteme und medizinische Entscheidungen

Das Treffen von Entscheidungen im medizinischen Alltag wird umso aufwendiger und komplizierter, je mehr Informationen in den Entscheidungsprozeß einbezogen werden müssen. Mit der steigenden Informationsflut in der Medizin wird der Einsatz von Computerprogrammen zur Entscheidungsunterstützung zunehmend notwendiger. Shortliffe, einer der Urväter medizinischer Expertensysteme, definiert ein System zur medizinischen Entscheidungsunterstützung als

jedes Computerprogramm, welches unter Verwendung von patientenbezogenen klinischen Daten sowie allgemeinem medizinischen Wissen das Krankenhauspersonal bei klinischen Entscheidungen unterstützt. [1]

Neben dieser allgemeinen Charakterisierung unterscheidet er hinsichtlich ihrer Zielsetzung drei Kategorien von Systemen zur medizinischen Entscheidungsunterstützung:

- Systeme zum Informationsmanagement
- Systeme zur Fokussierung der Aufmerksamkeit
- Systeme zur patientenspezifischen Konsultation

Die Übergänge zwischen diesen Kategorien sind fließend.

Systeme zum Informationsmanagement. Ein Beispiel dafür sind Krankenhausinformationssysteme. Neben der sicheren Speicherung und Verwaltung von klinischen Patientendaten müssen sie jederzeit einen einfachen und raschen Zugriff auf problembezogene Daten erlauben. Ein weiteres Beispiel sind bibliographische Nachweissysteme, mit Hilfe derer der Benutzer gezielt die aktuelle Literatur durchsuchen kann.

Anders als in den beiden folgenden Kategorien liegt der Schwerpunkt von Informationsmanagementsystemen lediglich in der Verwaltung und einer benutzerfreundlichen Aufbereitung der Information (medizinisches Wissen und/oder patientenspezifische Daten), die der Arzt für seine Entscheidungen benötigt. Das System wendet die Information nicht auf gegebene Probleme an; dies bleibt die Aufgabe des Benutzers.

Systeme zur Fokussierung der Aufmerksamkeit. Ein typisches Beispiel sind Laborsysteme, die durch das Erkennen abnormaler Werte einen zusätzlichen Dienst erbringen. Ebenso gehören Systeme zur Überwachung der Medikation in diese Kategorie, die den Arzt auf gegebene Kontraindikationen hinweisen. Solche Systeme sind im allgemeinen relativ einfach und sollen den Arzt lediglich auf potentiell gefährliche Ereignisse aufmerksam machen.

Systeme zur patientenbezogenen Konsultation. Patientenbezogene Konsultationssysteme bieten primär Unterstützung bei der Diagnose individueller Patientendaten an und werden deshalb häufig auch als *Diagnosesysteme* bezeichnet. Diese Systeme verfügen über eine Wissensbasis, die explizit medizinisches Wissen enthält. Dazu gehören eine Hierarchie medizinischer Konzepte wie Krankheiten, Syndrome und Symptome, (kausale) Zusammenhänge zwischen diesen Konzepten, Therapiepläne etc. Manche Systeme generieren daraus eine Liste von Differentialdiagnosen und schlagen weitere Untersuchungen vor, die bei der Eingrenzung dieser Hypothesen hilfreich sind. Andere Systeme bewerten die Qualität jeder Diagnose anhand der vorliegenden Symptome und deren Beweiskraft und versuchen so, eine "beste" Enddiagnose zu berechnen. Wieder andere Systeme dieser Kategorie legen den Schwerpunkt auf die Unterstützung des Arztes bei der Auswahl der geeigneten Therapien und eventuell einer anschließenden Überwachung.

Medizinische Expertensysteme fallen vornehmlich in die dritte Kategorie.

3 Medizinische Expertensysteme im Wandel

Die Zielsetzungen und Erscheinungsformen medizinischer Expertensysteme sind sehr vielseitig und haben sich im Laufe ihrer Geschichte stark verändert. Die Systeme der ersten Generation waren vorwiegend für die Berechnung von Diagnosen für eine fest gegebene Menge von Symptomen konzipiert und traten in der Regel als isolierte Systeme auf. In jüngerer Zeit treten der Aspekt der Ausbildung sowie die Notwendigkeit einer Netzeinbindung stärker in den Vordergrund. Dafür verantwortlich sind neben den technologischen Neuerungen vor allem die geänderten Anforderungen der Benutzer, die sich (wie so häufig im EDV-Wesen) erst durch die Verwendung der ersten prototypischen Systeme herauskristallisiert haben.

3.1 Konsultationssysteme

Die klassische Form eines medizinischen Expertensystems ist die des *Konsultationssystems*. Ein Arzt hat ein bestimmtes Problem, meistens eine Diagnose, zu lösen und wendet sich an ein geeignetes Expertensystem. Dieses fordert vom Arzt alle benötigten Patientendaten an und leitet daraus, wenn möglich, die Antwort ab. Dieser Interaktionsstil, der gelegentlich mit dem des Orakels von Delphi verglichen wird, entspricht zwar der unterstellten Rollenverteilung vom Arzt als dem, dem geholfen werden muß, und dem Computer als dem Experten; er trifft jedoch nur selten die Realität. Der Mythos von einem "allwissenden Orakel", das den Arzt in eine passive Rolle versetzt, indem es ihn lediglich die Symptome erkennen und dem Programm übermitteln und anschließend auf die richtige Diagnose warten läßt, war, nicht zuletzt aus psychologischen Gründen, ein wesentliches Hindernis für die mangelnde Akzeptanz medizinischer Expertensysteme.

Wenn man von medizinischen Konsultationssystemen spricht, denken viele primär an *allgemeine Diagnosesysteme*, die über umfangreiches Wissen in möglicherweise verschiedenen medizinischen Gebieten verfügen und eine allgemeine Diagnose berechnen können. Wenngleich es diese Vision seit Beginn der Expertensystementwicklung gibt, sind wir heute noch weit davon entfernt, allgemeine Diagnosesysteme im Routineeinsatz zu finden. Dafür gibt es mindestens zwei Gründe. Einerseits ist das medizinische Wissen derart komplex und vielseitig, daß die heutigen Methoden der Informatik nicht ausreichen, dieses Wissen adäquat zu repräsentieren. Hier gelangen wir an die Grenzen der Wissensrepräsentation. Andererseits wurde erkannt, daß nicht alle für die Diagnose relevanten Daten an den Computer übermittelt werden können. Jedes Expertensystem ist stets auf ein fest vorgegebenes Vokabular von medizinischen Konzepten (wie Symptomen und Krankheiten) beschränkt, das kaum alle relevanten Informationen umfassen kann. Bereits der erste Anblick des Patienten bedeutet für den Arzt eine Fülle von diagnostischer Information, die nur schwer oder überhaupt nicht formalisierbar ist. Hinzu kommen soziologische Faktoren, Umwelteinflüsse etc. Erst die Gesamtheit dieser Informationen zusammen mit den Symptomen ergeben ein ganzheitliches Bild vom Patienten, das nur der Arzt haben kann.

Gelungener erscheint da die Entwicklung von *spezialisierten Diagnosesystemen* auf einem kleinen, klar umgrenzten Gebiet. Wenn die Diagnostik für Arzt und Expertensystem gleichermaßen auf der Grundlage einer wohldefinierten Menge objektiver Informationen erfolgt, kann ein Expertensystem ernsthaft konkurrieren. Das wohl bedeutendste System in dieser Klasse ist das Dombals System zur Differentialdiagnose von akutem Bauchschmerzen, das weniger als 20 Krankheiten kennt [2].

Spezialisierte Diagnosesysteme sind heute die am weitesten verbreitete Form von Systemen zur diagnostischen Entscheidungsunterstützung.

3.2 Integrierte Expertensysteme

Während die Konsultationssysteme nur mit teilweise beträchtlichem Zeitaufwand zu benutzen sind, können *integrierte Expertensysteme* ihre Aufgaben autark erfüllen. Ein erfolgreiches Beispiel dafür sind Expertensysteme zur Interpretation von Meßergebnissen, die in medizintechnische Apparaturen integriert sind. Laborautomaten, die neben den gemessenen Werten auch die Abweichung von der alters- und geschlechtsspezifischen Norm angeben oder aus den serologischen Befunden den Infektionsstatus des Probanden ableiten, sind zwar wissenschaftlich weniger anspruchsvoll, dürften praktisch jedoch einen weitaus größeren Nutzen erzielen als die aufwendige Befragung eines Konsultationssystems durch den behandelnden Arzt. Expertensysteme zur EKG-Analyse sind längst etabliert, solche zur Interpretation von Blutgasanalysen oder Lungenfunktionstests sind weit verbreitet, um nur einige Beispiele zu nennen.

3.3 Unterstützung bei der Auswahl von Untersuchungen

Der Diagnoseprozeß ist ein sich wiederholendes Wechselspiel zwischen dem Erklären der Symptome und dem Erheben neuer Daten. Viele Ärzte sind der Meinung, daß der praktizierende Arzt bei der *Auswahl zusätzlicher Untersuchungen* viel häufiger Unterstützung braucht als beim Diagnostizieren selbst [1]. Die Auswahl der "besten" nächsten Untersuchung ist von entscheidender Bedeutung für eine möglichst rasche Einschränkung der Diagnosehypothesen.

Die Auswahl einer Untersuchung ist ein komplexer Entscheidungsprozeß, in den nicht nur das medizinische Wissen, sondern auch die folgenden Faktoren einfließen:

- die *Kosten* für eine Untersuchung,
- der *Nutzen* (Informationsgewinn) einer Untersuchung zur Eingrenzung der Diagnosehypothesen und
- das *Risiko*, das eine Untersuchung für den Patienten birgt.

Der Fortschritt in der Medizintechnik hat zwar immer bessere Untersuchungsmethoden erbracht (z.B. Computer- und Kern-Spin-Tomographie), die Daten mit hoher diagnostischer Information liefern, diese Untersuchungen sind jedoch meistens auch kostenintensiver. Da der Kostenfaktor auch in der Medizin eine immer größere Rolle spielt, muß er vom diagnostizierenden Arzt auch stärker berücksichtigt werden. Expertensysteme, die bei ihren Untersuchungsvorschlägen auch die Kosten-/Nutzenanalyse einbeziehen, helfen dem Arzt bei der Rechtfertigung seiner Entscheidung und werden somit zunehmend attraktiver.

3.4 Therapie und Überwachung

Nach der Diagnose ist die Auswahl einer geeigneten *Therapie* der nächste Schritt, ein häufig schwieriger Entscheidungsprozeß, für den die folgende Information von entscheidender Bedeutung ist:

- die *Diagnose*, die nicht immer eindeutig sein muß,
- die *Kosten* einer Therapie verglichen mit dem Nutzen und
- die *Kontraindikationen* von Maßnahmen und Medikamenten.

Eng damit verbunden ist die *Überwachung* des Patienten während einer Therapie. Erst dadurch kann seine endgültige Genesung festgestellt und gleichzeitig der Erfolg der Therapie bewertet werden. Die Behandlung langwieriger Erkrankungen wie Aids macht zudem Therapieprotokolle notwendig, deren Einhaltung vom Computer gut überwacht werden kann. Ein bekanntes Therapiesystem ist ONCOCIN [3], das den Arzt in der Planung und Durchführung einer Chemotherapie bei bösartigen Tumoren unterstützt.

Nicht unerwähnt bleiben dürfen natürlich die Programme, mit denen der Patient zu Hause seinen Zustand selbst überwachen und daraus die Dosierung seiner Medikation ableiten kann. Systeme zur Überwachung des Blutzuckerspiegels und der daraus folgenden Insulingabe sind bereits kommerziell erhältlich.

3.5 Rückzug in die Lehre

Wenn man heute liest, daß sich Expertensysteme hervorragend für die *Ausbildung* von Medizinern eignen, dann bedeutet dies nicht, daß sie ursprünglich dafür bestimmt waren. Vielmehr handelt es sich hierbei häufig um einen (strategischen) Rückzug aus der Praxis, in der die Systeme, aus welchen Gründen auch immer, nicht die gewünschte Verbreitung gefunden haben. Dagegen finden in der theoretischen Ausbildung, die per se Modellcharakter hat, medizinische Expertensysteme ideale Bedingungen für ihren Einsatz vor:

- idealisierte Problemstellungen,
- vorgegebene Lösungen, die, z.B. aus der medizinischen Fachliteratur, reproduziert werden müssen,
- Benutzer, deren intuitive Fähigkeiten und deren persönlicher Erfahrungsschatz erst am Anfang ihrer Entwicklung stehen sowie
- eine relativ weit verbreitete Akzeptanz des Computers als Hilfsmittel.

Dabei unterscheiden sich Expertensysteme ihrem Charakter nach hinreichend von den Methoden des computerbasierten Trainings, das in erster Linie durch die multimediale Präsentation von Wissen und dessen unselbständige Reproduktion gekennzeichnet ist:

- Die Wissensbasis eines Diagnosesystems enthält hoch qualifiziertes medizinisches Wissen in kompakter Form, das von mehreren Experten in jahrelanger Arbeit aufbereitet wurde und häufig umfangreicher als ein medizinisches Textbuch ist. So umfaßt z.B. die Wissensbasis von ILIAD [4] mehr als 14.000 medizinische Konzepte (Krankheiten, Syndrome, Symptome) und deren Zusammenhänge, sowie die wichtigsten aktuellen Literaturreferenzen dazu. Statt den Inhalt wie in einem Textbuch sequentiell zu erarbeiten, kann der Benutzer durch die Wissensbasis navigieren und so meistens viel rascher die benötigte Information sammeln.
- Gewissermaßen durch einen Rollentausch von Computer und Benutzer kann letzterer sich vom Expertensystem simulierte Fälle vorgeben lassen und selbst diagnostizieren, und sich somit in seiner Diagnosekunst üben. Dieser Prozeß wird dann vom Programm überwacht und bewertet.

- Schließlich sind viele medizinische Expertensysteme aufgrund ihres relativ profunden Wissens von der Materie in der Lage, die berechneten Diagnosen zu erklären.

Insofern ist der Einsatz von Expertensystemen in der Lehre durchaus gerechtfertigt. Es sollte jedoch nicht verschwiegen werden, daß sich Ausbildung und Praxis (heute noch) so fundamental unterscheiden, daß ein und dasselbe System wohl kaum gleichermaßen für beide Einsatzgebiete geeignet sein wird. Das wird sich wohl erst ändern, wenn die Technik in der Lage ist, den menschlichen Organismus vollständig zu simulieren und damit auch die gesamte Ausbildung am (dann simulierten) Patienten durchzuführen.

4 Interaktionsformen

Während in den frühen Jahren der Entwicklung der Schwerpunkt auf der Funktionalität des Systems lag, wurde nach und nach die Wichtigkeit einer den Bedürfnissen und Gegebenheiten angepaßten Interaktion mit dem System erkannt. Dabei spielen Faktoren wie die Integration der Systeme in den täglichen Routinebetrieb eine gleich große Rolle wie die Benutzerschnittstelle.

4.1 Passive und aktive Systeme

Was die Integration in den Routinebetrieb betrifft, kann man zwischen aktiven und passiven Systemen unterscheiden. *Passive Systeme* warten darauf, bis sie vom Arzt konsultiert werden. Der Arzt muß wissen, wann er Unterstützung braucht, und gegebenenfalls eine Konsultation initiieren und explizit alle notwendigen Patientendaten dem System übermitteln. Dieser Interaktionsmodus bedeutet für den Arzt einen hohen zusätzlichen Aufwand, wie z.B. die Eingabe der Patientendaten, und war in der Vergangenheit in der Tat ein entscheidender Faktor für die schleppende Akzeptanz und Verbreitung medizinischer Expertensysteme.

Im Gegensatz dazu sind *aktive Systeme* in ein bestehendes Krankenhausinformationssystem integriert und werden durch das Einfügen neuer Daten von selbst aktiv. Das bekannteste Beispiel dafür ist das Krankenhausinformationssysteme HELP [5], das im Latter Day Saints Hospital in Salt Lake City im Einsatz ist. Über Triggerfunktionen, die relativ einfache Bedingungen formulieren, können durch das Eintreffen neuer Patientendaten oder durch das Fortschreiten der Zeit Programme gestartet werden, die wertvolle patientenspezifische Informationen liefern. Die Palette reicht von der automatischen Erstellung von Berichten über die Generierung von Warnungen bis hin zum Ausdrucken von Mahnungen, wenn z.B. ein Patient eine Impfung erhalten muß oder ein zu einem früheren Zeitpunkt abnormaler Laborbefund nochmals untersucht werden muß. Aber auch komplexe Diagnosesysteme könnten auf diese Weise gestartet werden und die bereits vorliegenden Daten interpretieren und, falls erforderlich, neue Daten anfordern.

Der große Vorteil aktiver Systeme liegt darin, daß die Unterstützung ohne zusätzlichen Mehraufwand wie z.B. das Eingeben von Daten erfolgt. Voraussetzung für aktive Systeme ist ein gut funktionierendes Krankenhausinformationssystem, das sämtliche an verschiedenen Stellen anfallenden patientenbezogenen Daten erfaßt, verwaltet und den Programmen zur Verfügung stellt. Ad hoc Krankenhausinformationssysteme in einzelnen Abteilungen und eine mangelhafte Standardisierung für den Austausch medizinischer Information waren in der Vergangenheit allzu oft die Ursache dafür, daß diese Voraussetzung nicht gegeben war.

4.2 Konsultation oder Kritik

Passive Expertensysteme treten in zwei verschiedenen Formen auf. Die klassische Form ist die *Konsultationsform*. Der Arzt konsultiert das Expertensystem, überbringt ihm die patientenspezifischen Daten, beantwortet Fragen des Systems, und erhält Unterstützung wie z.B. Diagnosen, neue Untersuchungsvorschläge oder auch Therapie-vorschläge.

Eine zweite sehr wichtige Rolle eines Expertensystems hat sich im Laufe der Zeit herauskristallisiert, nämlich der Computer als *„Kritiker“*. Das System bekommt als Eingabe sowohl die patientenspezifischen Daten als auch die bereits getroffenen Entscheidungen des behandelnden Arztes wie z.B. Diagnose und Therapie. Die Aufgabe des Systems besteht darin, diese Entscheidungen zu kontrollieren bzw. zu kritisieren und *nur* im Falle von Diskrepanzen zu interagieren und Alternativen vorzuschlagen. Dieser Interaktionsmodus kommt dem Wunsch des Arztes entgegen, daß er selbst unbehindert seine Diagnosen oder Therapien erstellen kann und nicht durch vermeintlich fehlende Information blockiert oder durch die beschränkte Sicht des Systems in die falsche Richtung gelenkt wird, daß seine Entscheidungen jedoch von einem zweiten *„Experten“* kontrolliert werden. Zum Beispiel, könnte der Arzt ein wichtiges Symptom, das einer Erklärung bedarf, übersehen haben oder an eine seltene Krankheit nicht gedacht haben; auch könnte es eine kostengünstigere oder für den Patienten weniger schädliche Therapie geben. Der menschliche Experte mit seiner Tendenz, vorgefahrene Wege zu gehen, wird sozusagen von einem Programm überwacht, das unbeirrt und gewissenhaft seltene Krankheiten oder Therapien genauso in Erwägung zieht wie sehr häufige. Diese Art der Unterstützung scheint die Bedürfnisse menschlicher Experten eher zu treffen als ein *„allwissendes Orakel“*. Ein Beispiel für ein Kritiksystem ist ATTENDING [6], ein System das patientenspezifische Anästhesiepläne kontrolliert und überprüft.

4.3 Ergonomie

Wie kaum eine andere Komponente wurde die *Benutzerschnittstelle* von Expertensystemen im Laufe der Zeit weiterentwickelt und verbessert, was entscheidend zur vermehrten Akzeptanz dieser Systeme beigetragen hat. Die erste Generation medizinischer Expertensysteme war von Großrechnern mit angeschlossenen Terminals und

einer zeichenorientierten Ein-/Ausgabe geprägt. Aufgrund der großen Datenmengen in der Medizin führte dies zu langen Benutzerdialogen mit dem System.

Erst durch die Einführung der graphischen Benutzeroberflächen in den letzten Jahren hatte man die notwendigen Hilfsmittel, um die Interaktion deutlich zu erleichtern und zu vereinfachen. Dabei ist eine einfache Dateneingabe genauso wichtig wie eine übersichtlich Darstellung der Information auf dem Bildschirm. Neben der Dateneingabe mit der Maus oder berührungssensitive Bildschirme ("touch screens") werden heute in eng umgrenzten Gebieten bereits Systeme mit automatischer Spracherkennung eingesetzt, die den Aufwand beträchtlich reduzieren. Symbolische Darstellungsformen sowie Farbkodierung gewinnen immer mehr an Bedeutung, z.B. werden Wahrscheinlichkeiten oder Meßwerte häufig in Form von Balken- oder Kuchendiagrammen dargestellt, pathologische Werte werden rot markiert. Insgesamt ist die Benutzerschnittstelle heutiger Systeme durch ein Minimum an direkter Kommunikation mittels Tastatur sowie durch eine soweit als möglich symbolische Repräsentation der medizinischen Information charakterisiert.

5 Brauchen wir Expertensysteme?

Faßt man Arzt und Computer als Konkurrenten im Erbringen medizinischer Leistungen auf, so muß man feststellen, daß beide in bestimmten Eigenschaften ihrem jeweiligen Wettbewerber überlegen sind. Der Arzt beherrscht das Integrative und kann seine Intuition benutzen, während sich der Computer durch seine unerbittliche Strenge in der Anwendung der ihm vorgegebenen Beurteilungskriterien hervortut. Diese Eigenschaften sind einander entgegengesetzt; richtig verbunden müßten sie sich zu einem wesentlich leistungsfähigeren System vereinen lassen.

Wie bereits erwähnt, stellen Kritiksysteeme eine vielversprechende Kooperationsform von Arzt und Expertensystem dar. Daß diese erstrebenswert ist, haben Experimente gezeigt: Ärzte neigen gelegentlich dazu, bei einem bestehenden Verdacht wichtige Untersuchungen zu vergessen oder seltene Krankheiten außer Betracht zu lassen [7]. Hier kann das Expertensystem aktiv werden und auf Versäumnisse hinweisen.

Der ständig steigende Zuwachs an medizinischer Erkenntnis und Möglichkeiten überschreitet die Kapazität eines einzelnen. Eine Verteilung des Wissens auf mehrere Spezialisten führt insgesamt zu einer suboptimalen Patientenversorgung, da nur selten alle Einzelleistungen zur Verfügung stehen oder ausgeschöpft werden können. Vor diesem Hintergrund ist eine Kooperation zwischen Arzt und einem allgemein verfügbaren Expertensystem interessant.

In ähnlicher Weise steigt die Flut der Daten, die durch moderne medizintechnische Apparate produziert werden. Im selben Maße müssen auch die Kapazitäten zur Interpretation dieser Daten steigen, um einen tatsächlichen medizinischen Fortschritt zu erzielen. So genügt es z.B. nicht, daß von einem Patienten auf der Intensivstation mehr als zehn Vitalparameter aufgezeichnet und angezeigt werden; diese Daten müssen auch

zu einer aussagekräftigen Zustandsbeschreibung des Patienten zusammengeführt werden.

Auch aus rechtlichen Gründen könnte der Einsatz von Expertensystemen notwendig werden. Wenn sich Expertensysteme als Werkzeug etabliert haben und der Arzt verpflichtet ist, dem Patienten die bestmögliche Behandlung zukommen zu lassen, wird es der Arzt im Falle einer Schädigung des Patienten nur schwer verantworten können, ein ihm zur Verfügung stehendes Expertensystem nicht konsultiert zu haben.

6 Voraussetzungen für den Erfolg

Ein wichtiger Aspekt für den Erfolg medizinischer Expertensysteme ist damit verbunden, in welchem Maße ein System den Arzt unterstützt und ihm wertvolle Zeit bringt, die er für die Patientenbetreuung verwenden kann. Dazu muß das System Hilfestellungen leisten, die der Arzt auch tatsächlich braucht.

Ebenso wichtig ist die komplette Integration von Expertensystemen in ein bestehendes Krankenhausinformationssystem, in dem alle Daten verfügbar sind. Nur wenn der behandelnde Arzt mit geringem Mehraufwand die Unterstützung des Expertensystems nutzen kann, wird er es auch verwenden.

Um die Belastung durch den Dialog mit einem Expertensystem möglichst gering zu halten, muß vor allem eine intuitiv begreifbare Benutzerschnittstelle zur Verfügung stehen, die einen Umgang mit dem System ohne lange Einlernzeit erlaubt. Neben der Minimierung der Aktionen von Seiten des Arztes ist vor allem auf eine übersichtliche, möglichst symbolische Darstellung der Information zu achten.

Fast eine Selbstverständlichkeit, doch nicht unerwähnt bleiben soll die Tatsache, daß, genau wie für ein medizinisches Lehrbuch, die Korrektheit eines Expertensystems und das Vertrauen der Ärzte darin eine notwendige Voraussetzung für die Akzeptanz sind. Eine sorgfältige Erstellung und Wartung der Wissensbasis durch eine Experten-Gruppe sowie eine fundierte Evaluierung des Gesamtsystems sind von größter Wichtigkeit. Ebenso wichtig ist die Fähigkeit des Systems, seine Entscheidungen begründen zu können, sodaß der Arzt stets die Schlußfolgerungen des Systems nachvollziehen und sich von der Korrektheit selbst überzeugen kann.

7 Routineeinsatz — Aktueller Stand

Wenngleich medizinische Expertensysteme nicht die ursprünglich erwartete Verbreitung fanden, unterstützt doch eine beträchtliche Anzahl davon im täglichen Routinebetrieb das Krankenhauspersonal. Wie der Tabelle 1 zu entnehmen ist, sind Laborsysteme bereits auf breiter Basis eingesetzt und es ist anzunehmen, daß sie auch in Zukunft stark zunehmen werden. Allgemeine Diagnosesysteme hingegen sind noch größtenteils im Forschungsstadium und zielen derzeit mehr auf den Einsatz in der Ausbildung denn auf den Routinebetrieb ab.

Einsatzgebiet	Anzahl
Überwachung in ICU	5
Diagnose	4
Ausbildung (Training)	2
Laborsysteme	13
Qualitätssicherung und Administration	7
Bildverarbeitung	3

Tabelle 1: Expertensysteme im Routineeinsatz.

Name	Status	Type	Entry Date
Becton Dickinson Systems	routine use	haematology, microbiology	March 26 1993
Coulter(R) FACULTY(TM)	routine use	haematology	May 9 1996
DoseChecker	routine use	drug dose checker	Oct 27 1995
GermAlert	routine use	infection control	Oct 27 1995
Germwatcher	routine use	infection control	Nov 15 1995
Hepaxpert I, II	routine use	hepatitis serology	March 26 1993
Interpretation of acid-base disorders	routine use	acid-base	March 26 1993
Liporap	routine use	dyslipoproteinaemia phenotyping	March 26 1993
Microbiology/Pharmacy Expert System	routine use	drug sensitivity	Jan 2 1994
Pro M.D.	routine usek	CSF interpretation	Jan 26 1996
PEIRS	decommissioned	pathology reports	Oct 27 1995
PUFF	routine use	pulmonary function tests	March 26 1993
SahmAlert	routine use	drug sensitivity	Oct 27 1995

Tabelle 2: Laborsysteme im Routineeinsatz.

Ein Überblick über medizinische Expertensysteme im Routineeinsatz findet man im World Wide Web unter der Adresse <http://www-uk.hpl.hp.com/people/ewc/list.html>. Tabelle 1 zeigt die Anzahl der dort dokumentierten Systeme aufgeteilt nach verschiedenen Einsatzgebieten. Der Interessierte findet dort eine kurze Beschreibung des Programms, wichtige Literaturreferenzen, sowie Kontaktpersonen für weitere Informationen. Tabelle 2 zeigt als Beispiel die dort dokumentierten Laborsysteme.

8 Schlußbemerkungen

Um medizinische Expertensysteme ist es ruhiger geworden. Das bedeutet jedoch nicht, daß sich der Ansatz als falsch erwiesen hat; vielmehr sind die Erwartungen an den Fortschritt realistischer geworden. Die frühen Systeme, so ambitioniert sie auch waren, sind weniger an ihren eigenen hochgesteckten Zielen gescheitert, sondern vielmehr an der mangelnden Reife ihrer Umgebung. Als Forschungsprototypen haben sie dennoch wertvolle Erkenntnisse geliefert und eine Funktion als Wegbereiter erfüllt: Neue, praktikablere Systeme sind jetzt in der Entstehung — ein Generationenwechsel hat stattgefunden.

Große Firmen wie Microsoft oder Hewlett-Packard betreiben eigene Forschungslaboratorien, die ganz der Entwicklung und kommerziellen Vermarktung von Expertensystemen gewidmet sind. Bezeichnend ist, daß diese Expertensysteme nicht als

isolierte Produkte, sondern als integraler Bestandteil komplexer Systeme konzipiert werden. Sie treten mehr in der Form intelligenter Funktion und Hilfestellung denn als "allwissendes Orakel" in Erscheinung und werden uns schon bald so selbstverständlich erscheinen, wie es heute bereits die automatische Silbentrennung und Rechtschreibhilfe in Textverarbeitungsprogrammen sind.

Für die Medizin bedeutet dies: Arztpraxen- oder Patientenverwaltungsprogramme, die bei Vorliegen einer bestimmten Unverträglichkeit das Verordnen eines betroffenen Medikaments verhindern, intensivmedizinische Überwachungsapparate ("Monitore"), die selbständig erkennen, wann ein technischer Fehler wie das Verrutschen eines Sensors und wann ein kritischer Zustand eines Patienten vorliegt und somit die heute noch inakzeptabel hohe Rate der Fehlalarme reduzieren, und radiologische Befundungsstationen, die Organe und deren pathologischen Veränderungen selbständig erkennen, aus dem sie umgebenden Gewebe isolieren und dreidimensional darstellen können, sind die nahe Zukunft. Auf den diagnostischen Universalcomputer "Tricorder" aus der Fernsehserie Raumschiff Enterprise, der in Sekundenschnelle durch bloßes Ansetzen an einen Patienten die Diagnose liefert, werden wir sicherlich noch einige Dekaden warten müssen.

Literatur

- [1] Edward H. Shortliffe. Computer programs to support clinical decision making. *JAMA*, 258(1):61–66, July 1987.
- [2] F. T. De Dombal, D. J. Leaper, and J. R. Staniland et al. Computer-aided diagnosis of acute abdominal pain. *Br Med J*, 1:376–380, 1972.
- [3] D. H. Hickam, E. H. Shortliffe, and M. B. Bischoff et al. The treatment advice of a computer-based cancer chemotherapy protocol advisor. *Ann Intern Med*, 103:928–936, 1985.
- [4] B. Bergeron. Iliad: A diagnostic consultant and patient simulator. *MD Computing*, 8:46–53, 1991.
- [5] R. A. Pryor, R. M. Garner, and P. D. Clayton et al. The HELP system. *J Med Syst*, 7:87–102, 1983.
- [6] P. L. Miller. *Expert Critiquing Systems: Practice-Based Medical Consultation by Computer*. Springer-Verlag, New York, 1986.
- [7] Randolph A. Miller. Medical diagnostic decision support systems — past, present, and future: A threaded bibliography and brief commentary. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 1(1):8–27, 1994.
- [8] W. Hamscher, L. Console, and J. de Kleer. *Readings in Model-Based Diagnosis*. Morgan Kaufmann, 1992.