

1987 Nr. 53

Vortrag am 6.2.1987 auf der Siemens-Informationstagung für die
Führungsebene im Gesundheitswesen in Prien, Yachthotel Chiemsee

Expertensysteme und künstliche Intelligenz in der Medizin:

Möglichkeiten und Grenzen.

K. Überla

<u>INHALT</u>	<u>SEITE</u>
<u>1. Mögliche Ansätze zur Diagnoseunterstützung</u>	2
<u>2. Künstliche Intelligenz und Expertensysteme</u>	7
<u>3. Bausteine und Begriffe für Expertensysteme</u>	8
<u>4. Beispiele für Medizinische Expertensysteme</u>	11
<u>5. Schwierigkeiten, Probleme und offene Fragen</u>	13
<u>6. Hoffnungen und Möglichkeiten</u>	15
<u>7. Zukunftsaspekte</u>	16

Meine Damen und Herren,

ich bedanke mich für die Einladung und für die Möglichkeit, vor Ihnen zu sprechen und mit Ihnen zu diskutieren über ein Thema, das mit der Realität der Datenverarbeitung im Krankenhaus heute noch wenig zu tun hat, das aber faszinierend und zukunftssträchtig ist.

Wer von uns will nicht intelligent sein - was immer das bedeutet - und wer wollte nicht "künstlich intelligent" sein, wenn er diese Kunst bekommen kann? Künstliche Intelligenz in der Medizin, wo die persönliche Not noch trifft und wo der Anspruch auf Qualität besonders hoch ist: Es gibt wohl kaum eine Wortschöpfung, die für die Vermarktung zweideutiger und damit attraktiver wäre.

- Folie 1 -

Die Anwendung der Informatik in der Medizin ist bisher auf eher nebensächliche Teilbereiche und sekundäre Hilfsfunktionen beschränkt: Auswertung wissenschaftlicher Studien, Unterstützung der Verwaltung, Signalverarbeitung, Teilautomatisierung des Labors und anderer Subsysteme z.B. EKG und schließlich als selbstverständlicher Bestandteil in vielen technischen Geräten, z.B. in der Computertomographie.

Mit der Entwicklung von Expertensystemen geht man von Teilbereichen und sekundären Hilfsfunktionen weg und an den Kern, ins Eingemachte der Medizin. Der Vorgang des Sich-Herantastens an die richtige Diagnose und der schrittweisen Auswahl der Therapie soll vom Rechner in wesentlichen Teilen übernommen werden.

Im Bereich der Diagnoseunterstützung haben wir eine jahrzehntelange Forschung hinter uns. In den dreißiger Jahren beschäftigte sich die Biometrie mit der Vaterschaftsdiagnostik, also mit der Frage, mit welcher Wahrscheinlichkeit einer von mehreren beschuldigten Männern der wirkliche Vater ist und zum Zahlvater gemacht werden könne. Das ist der Kern des diagnostischen Problems, das damals im Ansatz gelöst wurde. 1958

faßten Ledley und Lusted die statistischen Ansätze zusammen. Mehr als 2.000 Arbeiten sind zum diagnostischen Problem publiziert worden. Es gibt Bücher über Expertensysteme in der Medizin und eine eigene Zeitschrift. Am Kongress für Medizinische Informatik in Washington im letzten Jahr wurden mehr als 60 Vorträge zu Aspekten und Neuentwicklungen vorgetragen.

- Folie 2 -

In den nächsten 30 Minuten habe ich Ihnen aus der Vogelperspektive über künstliche Intelligenz und Expertensysteme in der Medizin zu berichten. Beginnen will ich mit bekannten Ansätzen zur Diagnoseunterstützung. Dann werde ich die Frage stellen, wie "künstliche Intelligenz" definiert ist und was zu Expertensystemen gehört. Bausteine und Begriffe zu Expertensystemen sollen genannt werden, Beispiele schließen sich an. Schwierigkeiten und Risiken, Probleme und offene Fragen sollen nicht verschwiegen werden. Möglichkeiten und Hoffnungen will ich formulieren.

Abschließend will ich eine Beurteilung der Situation auf diesem Gebiet versuchen. Sie werden von mir keine Vollständigkeit erwarten, sondern meine persönliche Sicht der Dinge.

1. Mögliche Ansätze zur Diagnoseunterstützung

Das Medizinische Wissen ist, so gut es auch ist, unvollständig und lückenhaft. Es ist wenig empirisch gestützt, inkonsistent und kontrovers. Es erweitert sich exponentiell und wird laufend geändert. Dieser höchst unbefriedigende Zustand des medizinischen Wissens wird im Kern wohl immer so bleiben. Andererseits werden nicht alle Patienten mit dem jeweils vorhandenen bestem Wissen versorgt. Ein erheblicher Gewinn für die Volksgesundheit wäre zu erwarten, wenn alle zur rechten Zeit vom jeweils besten Spezialisten umfassend betreut werden könnten.

Welche Ansätze zu einer Verbesserung dieser Situation, insbesondere zur Diagnoseunterstützung, gibt es also?

- Folie 3 -

- 1.) Die Verwendung von Handlungsanweisungen und Protokollen für Ärzte und Hilfspersonal ist weit verbreitet. Gedruckt, geschrieben oder mit Hilfe von Flußdiagrammen wird festgehalten, welche Tests bei welchen Patienten durchzuführen sind und was bei der Durchführung zu beachten ist. Über den eigentlichen Diagnosevorgang und den Vorgang der Therapiefindung sagen sie meist wenig aus.
- 2.) Das Suchen ähnlicher Fälle in Datenbanken ist die nächste Möglichkeit. Ausgehend von gut geführten Krankenakten, die in einer Datenbank verfügbar sind, werden zu einem Patienten ähnliche Fälle herausgesucht und dem Arzt zur Verfügung gestellt. Prognostische Hinweise, Tips für Diagnose und Therapie kann er daraus ableiten.
- 3.) Manchmal lassen sich für bestimmte physiologische Vorgänge mathematische Modelle anpassen, z.B. in der Pharmakokinetik für den Konzentrationsverlauf bestimmter Stoffe in verschiedenen Compartimenten oder bei Elektrolytstörungen oder der Lungenfunktion. Es gibt wenige Bereiche in der Medizin, die sich dafür eignen. Nur Spezialisten gehen bisher mit solchen Modellen um.
- 4.) Statistische Zuordnungsverfahren gehen im einfachsten Fall von folgender Situation aus:

- Folie 4 -

Die Abbildung gibt eine Verteilung von Gesunden und von Kranken bei einem quantitativen Merkmal, etwa dem Blutzucker, wieder. Die beiden Verteilungen überlappen sich. Legt man die Grenze bei der Linie 1, so finden sich links davon, im Bereich A, nur korrekt als gesund Erkrankte. Ebenso finden sich oberhalb der Linie 3 nur korrekt als

ranke Erkannte. Im Zwischenbereich treten Fehler auf: Falsch Positive oder falsch Negative. Legt man die Grenze in die Linie 2, ist die Wahrscheinlichkeit für jeden der beiden Fehler gleich groß.

Man macht also bei jeder Diagnose Fehler, falsch Positive und falsch Negative, es ist nur die Frage wieviel und in welche Richtung. Die Überlappung der Verteilungen ist meist viel größer als hier angedeutet.

Durch mehrdimensionale Betrachtungsweise kann man versuchen, die Fehler zu vermindern. Man betrachtet bei der Diskriminanzanalyse z.B. 2 Merkmale, jede Person ist durch einen Punkt dargestellt, die Dreiecke sind Kranke, die Kreise Gesunde. Projiziert man die Punkte nach unten, erhält man zwei Verteilungen, die sich überlappen. Eine Trennung, wie in der Folie vorher, wäre praktisch nicht möglich. Die Situation ist noch schlechter, wenn man auf die Y-Achse projiziert. Man sucht nun ein neues Achsensystem, eine neue Skala, das so gewählt wird, daß die Trennung der beiden Verteilungen so gut als möglich wird. Die beiden Verteilungen auf der T-Skala überlappen sich kaum noch. Das Verfahren ist auf zahlreiche Merkmale erweiterbar. Seine Ergebnisse hängen natürlich von der Lage der Verteilungen im mehrdimensionalen Raum ab.

Man kann von solchen Vorstellungen ausgehend im Prinzip Krankheiten und ihre Diagnose im mehrdimensionalen Raum definieren: Eine Krankheit ist dann eine Punktwolke in einem mehrdimensionalen Merkmalsraum, die sich mehr oder weniger von anderen Krankheiten und den Gesunden abgrenzen läßt. Die Diagnose besteht darin, ein geeignetes Zuordnungsverfahren zu etablieren, das die Fehler minimiert. Dies hängt natürlich sehr vom jeweiligen Datenkörper ab.

- 5.) Mustererkennungsverfahren finden in der Biosignalverarbeitung, z.B. bei der EKG-Diagnostik oder bei der Bilderkennung Anwendung. Ausgehend von einer Trainingsmenge klarer Fälle wird ein diagnostisches Muster und eine Diskriminanzfunktion gesucht, die es gestattet, später Fälle diesem Muster möglichst eindeutig zuzuordnen. Derartige Ansätze sind in begrenzten Bereichen sehr erfolgreich, z.B. beim EKG, sie liefern 80 bis 95 % richtige Zuordnungen. Die Erfolgsrate hängt vom Datenkörper ab, weniger vom Verfahren im einzelnen. Probleme liegen in den Daten und ihrer Verfeinerung. Verlaufsänderungen gehen nicht ein. Ein weiterer Nachteil ist, daß die genau gleichen Maßstäbe und Skalen verwendet werden müssen.
- 6.) Nach der Bayesschen Formel läßt sich die Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein einer Diagnose, wenn ein bestimmtes Symptom vorliegt, leicht ausrechnen, sofern man die Wahrscheinlichkeit der Diagnose im Material und die Wahrscheinlichkeiten der Symptome bei allen Diagnosen kennt. Die Formel sieht komplizierter aus, als sie ist.

- Folie 6 -

- Folie 7 -

Voraussetzung ist die empirische Kenntnis einer solchen Symptom-Diagnosematrix, aus der sich alles für die Formel Nötige ergibt. Es gibt nur K-Diagnosen und die Symptome müssen voneinander unabhängig sein.

Wenn man eine solche Symptom-Diagnosematrix beobachtet hat - was an sich leicht möglich ist - kann man alles andere ausrechnen. Der Ansatz funktioniert ausgezeichnet. Bereits 1964 hat WARNER bei 83 Patienten mit 35 verschiedenen angeborenen Herzkrankheiten für 53 Symptome dies vorgeführt. Er kam auf eine korrekte Diagnose von über 80 %. Mit dem gleichen Ansatz kam DOMBAL beim Magenkarzinom auf über 90 % richtige Diagnosen gegenüber 80 % durch normale Ärzte. Eine

sequentielle Erweiterung ist möglich. Was fehlt, sind meist die Daten, die vorherige Einengung auf einen kleinen Bereich und die Akzeptanz.

- 7.) Der entscheidungstheoretische Ansatz, wie er von Raiffa, Ginsberg oder Schwarz vorgetragen wurde, geht davon aus, daß Entscheidungen sequentiell auf einem vorgegebenen Weg durch ein Netz, durch einen Entscheidungsbaum getroffen werden.

- Folie 8 -

Der bevorzugte Weg ist hier dick angezeigt. Der Entscheidungsbaum enthält Entscheidungsknoten und Zufallsknoten, alle möglichen Ausgänge sind im Prinzip bekannt.

Jeder Verzweigung wird eine Wahrscheinlichkeit und zusätzlich eine sogenannte "utility" zugeordnet, ein erwarteter subjektiver Wert, den dieser Zweig bezüglich der Abwägung von Schaden und Nutzen oder Kosten erhält. Für jeden Pfad durch den Entscheidungsbaum wird aus den Wahrscheinlichkeiten und den Utilities ein Gesamtwert errechnet. Diese Gesamtwerte werden miteinander verglichen. Der Pfad mit dem höchsten Wert ist zu bevorzugen. Freilich ist es schwierig und auch problematisch, die Utilities für die einzelnen Knoten und Pfade zu ermitteln. Ich will darauf hier nicht näher eingehen.

GORY hat z.B. ein entscheidungstheoretisches Verfahren auf die Diagnose des akuten Nierenversagens mit Erfolg angewendet. In einer ersten Stufe wurde ein Bayesscher Ansatz für 14 Tests gerechnet, die wenig invasiv sind und die Patienten daher kaum belasten. Für weitere eingreifende Untersuchungen wurde dann ein Entscheidungsverfahren eingesetzt, das es erlaubte, successiv zu entscheiden, ob man den jeweils nächsten, belastenderen Test durchführt oder behandelt usw. In kleinen präzisen Problemfeldern kommt das Verfahren der sequentiellen Entscheidungen also zu guten Ergebnissen.

8.) Symbolic Reasoning und Künstliche Intelligenz umfaßt Verfahren, die ihren Schwerpunkt an anderer Stelle haben. Sie benutzen teilweise die bisher genannten, mehr oder weniger exakten Verfahren, beginnen aber mit viel weicheren Daten, dem Expertenwissen, das mit Daumenregeln verknüpft wird. Alter Wein in neuen Schläuchen, aber durch den Stoff und die Verpackung ein völlig neues Produkt, eben das Expertensystem.

2. Künstliche Intelligenz und Expertensysteme

Künstliche Intelligenz wird im allgemeinen in folgender Weise definiert:

- Folie 9 -

n. Folie 10

Diese Definition hat kaum etwas mit dem zu tun, was Intelligenz beim Menschen ausmacht. Sie beschreibt die Ziele für technische Systeme, deren Reaktionen so aussehen sollen, daß sie Menschen mit dem Wort intelligent umschreiben würden.

Die so definierte Intelligenztechnologie ist in den USA seit den siebziger Jahren ein akzeptiertes Forschungsgebiet, das sich mit verschiedenen Feldern beschäftigt, die miteinander zusammenhängen, z.B. das Verstehen der natürlichen Sprache, die Übersetzung von Texten, das Erkennen von Bildern, die Entwicklung von Schachprogrammen, das automatische Beweisen logischer und mathematischer Sätze und schließlich Expertensysteme, die in einem konkreten Fachgebiet menschliche Experten unterstützen oder ersetzen sollen.

Expertensysteme sind also ein Teil der Forschung über künstliche Intelligenz, sie kommen aus der Informatik, nicht aus der Medizin. Sie erhalten ihr Fachwissen von den Experten, eben von den Ärzten. Sogenannte Wissensingenieure versuchen dieses Fachwissen in vorhandene Softwareinstrumente einzuarbeiten. Expertensysteme bestehen einerseits aus einer

Wissensbasis, die die Fakten und Regeln enthält, und getrennt davon aus einer Problemlösungsstrategie, einem Schlußfolgemechanismus, auch Inferenzmaschine oder General Problem solver genannt. Expertensysteme sollen erklären können, wie sie zu einem Schluß kommen, sie haben also eine Erklärungskomponente.

Expertensysteme werden dort eingesetzt, wo es noch keine exakten Theorien und Algorithmen gibt, wo es praktisch nicht möglich oder nicht sinnvoll ist, alle Möglichkeiten durchzuspielen, und wo man auf Daumenregeln angewiesen ist. Expertensysteme sind nicht unabhängig von Experten, sie werden von Experten, d.h. den Ärzten kontrolliert und sind ein Hilfsmittel für sie.

3. Bausteine und Begriffe für Expertensysteme

Ausgebaute Expertensysteme bestehen aus 5 Grundbausteinen:

- Folie 10 -

Die Wissensbasis enthält Fakten und Regeln, die von den Ärzten eingebracht wurden. Dies kann z.B. in Form von sogenannten Rahmen (Frames, Beschreibungen von Objekten) und von Skripten (Beschreibungen von Abläufen) geschehen.

Die Problemlösungsstrategien oder Schlußfolge-Mechanismen verknüpfen Fakten und Regeln nach vorgegebenen Verfahren und liefern Ergebnisse. Die Fähigkeit, Probleme zu lösen, ist Kern eines Expertensystems. Dazu braucht man zwei Beine: die Wissensbasis und die darauf angewandte Fähigkeit, Schlußfolgerungen zu ziehen. Im Programm ist festgelegt, welche Regeln in welcher Reihenfolge benutzt werden. Die Wissensbasis ist von der Problemlösungsstrategie getrennt, die auf die Wissensbasis angewandt werden kann. So kann man verschiedene Wissensbasen mit der gleichen Problemlösungsstrategie oder die gleiche Wissensbasis mit verschiedenen Problemlösungsstrategien angehen. Strategieänderungen und Änderungen der Wissensbasis sind leicht durchführbar, die Systeme sind

also nicht abgeschlossen. Man kann die Ergebnisse, die erzielt werden, nicht für alle Situationen vorweg aufzählen. Es gibt sehr verschiedene Problemlösungsstrategien.

Die Erklärungskomponente begründet dem Anwender, durch welche Fakten und Regeln und auf welchem Weg das System zu einem bestimmten Ergebnis gelangt ist und erlaubt es dem Arzt, dies zu überprüfen, wenn er sich die Zeit dazu nimmt.

Der Diaglogteil wickelt das Gespräch zwischen Anwender und Rechner ab. Dies geschieht möglichst in einer natürlichen Sprache, d.h. im medizinischen Fachenglisch, wobei Graphiken verwendet werden können, Tippfehler erkannt werden usw.

Die Wissensaquisition erlaubt es, neues Wissen in das System einzubringen und die Fakten und Regeln zu ändern, ohne daß neu programmiert werden muß. In diesem passiven Sinn sind Expertensysteme lernfähig.

Diese 5 Grundbausteine kennzeichnen die wesentlichen Unterschiede zu den früheren Ansätzen der Diagnoseunterstützung, z.B. zur Arbeit mit einer Datenbank. Expertensysteme sind heuristisch, d.h. es stehen mehrere Wege offen, es wird nicht algorithmisch ein einziges Ergebnis erreicht. Dies hat Vorteile und Nachteile.

- Folie 11 -

Die Wissensbasis enthält Fakten, z.B. den Blutdruck und seinen konkreten Wert. Sie enthält logische Regeln, im einfachsten Fall in einer wenn - dann Form.

Sie enthält Gewißheitsfaktoren (certainty Factors), die den Fakten oder Regeln beigelegt werden und die die subjektive Gewißheit der Experten über ein Datum oder eine Regel kennzeichnen.

Problemlösungsstrategien oder Schlußfolgemechanismen sind auf der Folie 12 wiedergegeben.

Die Vorwärts- oder Rückwärtsverkettung ist die erschöpfende Ableitung aller Folgerungen, die sich aus bestimmten Daten und Regeln logisch ergeben. Bei der Vorwärtsverkettung geht man von bestimmten Objekten oder Daten aus und wendet auf sie logische Regeln an. Bei der Rückwärtsverkettung wird eine bestimmte Behauptung oder Frage aufgestellt und es wird untersucht, ob es Regeln oder Fakten gibt, die diese beweisen oder rechtfertigen.

Die Zerlegung in Teilaufgaben (Phaseneinteilung) ist sinnvoll, wenn ein Problem immer in solche Teilaufgaben zerlegt werden kann.

Das Abarbeiten von hierarchischen Problem-Lösungsbäumen wird auch als "Establish-Refine" bezeichnet. Es enthält im Lösungsbaum einen wichtigen Teil der Problemlösung selbst.

Das Generieren von Lösungsbäumen und das frühe Ausscheiden schlechter Lösungen wird auch mit "Generate and Test" bezeichnet. Es ist eine wichtige Lösungsstrategie.

Das direkte Aktivieren der interessantesten Hypothes und ihre Überprüfung ist ein besonders rascher Lösungsweg.

Die Idee des schrittweisen Eingrenzens der Lösungen eliminiert successive Lösungen, die lokale Bedingungen nicht erfüllen.

Das typische Vorgehen bei der Differentialdiagnostik besteht darin, wenige einander ähnliche Hypothesen zu vergleichen und diejenige auszuwählen, die erheblich besser bewertet wird als die andern.

Die sogenannte Blackboard-Technik erlaubt es, verschiedene Wissens-

quellen nebeneinander auf eine Tafel zu schreiben und miteinander in Beziehung zu setzen.

Schließlich soll es die Auswahl geeigneter Abstraktionsebenen erlauben, einen Lösungsvorgang an den gewünschten Differenzierungsgrad anzupassen.

Alle diese Problemlösungsstrategien können theoretisch beliebig gemischt werden, sie liefern nicht immer dieselben Ergebnisse. Welche Mischung von Strategien für welches medizinische Problem am besten geeignet ist, ist unterschiedlich und noch kaum untersucht.

Für die Programmierung von Expertensystemen werden spezielle Programmiersprachen verwendet, die es gestatten, logische Verknüpfungen leicht auszudrücken. Prolog z.B. (Programmieren in Logik) erlaubt dies. LISP (Listenorientiertes Prozessing) ist die am meisten verwendete Sprache, die auf speziellen Maschinen läuft.

Da auch mit Hilfe dieser Sprachen die Programmierung eines Expertensystems nur mit größerem Aufwand möglich ist, versucht man, sogenannte "Schalen" leere Hülsen (Shells) für Expertensysteme zu etablieren, die aus allgemeinen Werkzeugen bestehen und es gestatten, unabhängig vom ursprünglichen Inhalt, sie mit Expertenwissen anderer Felder zu füllen.

4. Beispiele für medizinische Expertensysteme

Expertensysteme in der Medizin wurden für sehr verschiedene Aufgaben entwickelt. Kürzlich hat das MEDIS-Institut der GSF weltweit echte Expertensysteme untersucht und darüber eine Zusammenstellung angefertigt, aus der ich die Folie 13 zitiere.

Insgesamt wurden 64 Systeme untersucht, praktisch alle derzeit bedeutenden Projekte. Die überwiegende Mehrheit wird zur Diagnoseunterstüt-

zung eingesetzt, die Unterstützung der Therapie, der Ausbildung, die Interpretation und Forschung folgen.

- Folie 14 -

Die Anwendungsumgebungen derzeitiger Expertensysteme sind im wesentlichen medizinische Forschungseinrichtungen, Stationen oder Funktionseinheiten von Universitätskliniken. In Krankenhäusern, in der ambulanten Praxis oder anderen Bereichen finden sich wenige Anwendungen. Dies wird im Jahr 2000 nach der Schätzung der Befragten allerdings anders sein. Der Bereich der Anwendungen verschiebt sich nach dieser Umfrage und erweitert sich deutlich in die Peripherie.

Die Folie 15 enthält drei bekannte Beispiele für medizinische Expertensysteme.

- Folie 15 -

Das System MYCIN ist darauf ausgerichtet, die Identifizierung von Erregern für Infektionen und das Auffinden des geeigneten Antibiotikums zu unterstützen, ein nicht triviales Problem. Dieses experimentelle System ist in einem kürzlich erschienenen Buch auf über 600 Seiten beschrieben. Es hat ausgezeichnete Ergebnisse erzielt. Es wurde weiterentwickelt, die Systeme EMYCIN und ONCOCIN, ein System zur Unterstützung eines onkologischen Therapieprotokolls, verwenden Programmbausteine aus MYCIN.

Das System INTERNIST umfaßt die gesamte innere Medizin. Über eine anfängliche Problemformulierung wird aus allen Krankheiten zunächst eine Untermenge ausgewählt. Für die eigentliche Problemlösung an dieser Untermenge stehen viele Möglichkeiten zur Verfügung. Im System CADUCEUS wurde die Wissenspräsentation und die Problemformulierung von Internist erweitert.

Das System ABEL (Acid Base and Electrolyte Disturbances) erlaubt, kausale und assoziative Beziehungen auf verschiedenen Aggregationsebenen

und in verschiedenen Detail zu benutzen. Es enthält eine breite Menge von Beschreibungsmechanismen.

Auf den Folien 16-20 ist ein Beispiel für einen Dialog mit MYCIN enthalten, der sich weitgehend selbst erklärt.

5. Schwierigkeiten, Probleme und offene Fragen

Ich komme nun auf einige Schwierigkeiten zu sprechen.

Ärztliches Wissen ist wesentlich lückenhafter, als sich das der Laie vorstellt. Es ist von großer Unschärfe und von gleich großer Komplexität. Verschiedene Experten sind durchaus verschiedener Meinung. Expertensysteme, die von verschiedenen Ärzten entwickelt wurden, müssen daher auch unterschiedliche Diagnosen stellen und unterschiedliche Therapien empfehlen, wie man dies von verschiedenen Schulen kennt.

Die unscharfen Problemlösungsstrategien führen zu inkonsistenten Ergebnissen, je nachdem, welche Regeln man benutzt, kann man auch andere Ergebnisse bekommen. Es ist z.B. nicht sicher auszuschließen, daß in seltenen Bedingungskombinationen ein System Empfehlungen liefert, die nicht die optimalen sind und insoweit den Patienten auch schaden können. Es kann nicht alles aus Sicherheitsgründen vorher simuliert oder durchprobiert werden.

Ein fehlendes Gesamtkonzept, eine fehlende zusammenfassende Theorie ist durch weitere Forschung vielleicht zu erzielen. Zumindest ist es möglich, experimentell im Forschungsbereich mit verschiedenen Varianten zu spielen, und an einer solchen Theorie zu arbeiten.

Die Komplexität auf der technischen Ebene ist nicht zu unterschätzen. Es ist eine eigene Maschine erforderlich, ein differenziertes Umgehen mit dem System und hohe Beweglichkeit.

Schließlich spielen Akzeptanzprobleme eine gravierende Rolle. Degeneriert der Arzt und seine Verantwortung zu einem Meßfühler und Erfüllungsgehilfen eines Systems? Inwieweit Ärzte bereit sind, sich vom Expertensystemen beraten zu lassen und sich teilweise in wesentlichen ärztlichen Funktionen ersetzen zu lassen, hängt von vielen Dingen ab.

Risiken sind die inkompetente Handhabung und die Fehlfunktion durch mangelnde Evaluierung. Von ersterem wissen wir noch nicht viel, weil es kaum Routineanwendungen außerhalb der Entwicklungsumgebung gibt. Zur Evaluierung vor einer Einführung gehört die Beurteilung der Qualität der Datenlage, die gesicherte Wiederholbarkeit der Ergebnisse und eine Reihe technischer Fragen. Wie Expertensysteme in der Medizin durch eine Art TÜV überprüft werden sollten, ob sie staatlich zugelassen werden müssen ist völlig offen. Die Verantwortung bei einem breiten Einsatz wäre nicht klein.

Ungelöste Probleme liegen in der ärztlichen Haftung. Soll ein Arzt, der sich auf ein Expertensystem stützt, und sich die nicht optimale Entscheidung dieses Systems zu eigen macht, anders behandeln als wenn er das nicht tut und sehr viel weniger optimale Entscheidungen trifft? Datenschutzprobleme sind vorhanden, lassen sich vermutlich aber lösen. Die Kosten der Systembeschaffung und der Systemunterhaltung sind zu berücksichtigen. Es kann schließlich erwartet werden, daß durch Expertensysteme wegen ihrer Systematik und dem notwendigen Gewicht auf Sicherheit, eine Überdiagnostik und Übertherapie mit allen Folgen eintritt.

Die wichtigste offene Frage ist die unzureichende Datenlage. Bei besse-

rem Wissen könnten wir auch ohne Expertensysteme Patienten besser behandeln und diagnostizieren. Andererseits könnten Expertensysteme erheblichen Druck auf die systematische Gewinnung neuen Wissens ausüben.

Eine Schnittstelle zu medizinischen Datenbanken könnte entwickelt werden, die Daten selbst freilich sind selten vorhanden.

Die Berücksichtigung zeitlicher Abläufe fehlt heute fast völlig. Sie ist aber eine wesentliche Quelle ärztlicher Entscheidungen, die damit zusammenhängenden Probleme sind nicht trivial.

Eine standardisierte medizinische Fachsprache fehlt. Die Expertensysteme sprechen verschiedene Dialekte. Auch die Spracheingabe durch Experten ist noch nicht befriedigend entwickelt.

Gesunder Menschenverstand, "Common sense", fehlt derzeitigen Expertensystemen weitgehend. Sie kennen den Zusammenhang und Hintergrund nicht, auf dem Ärzte agieren. Soziale Unterschiede kann ein Expertensystem z.B. nicht im Dialog berücksichtigen, wenn man es nicht daraufhin einrichtet. Es behandelt den Chefarzt genauso wie den einfachen Benutzer.

Schließlich ist die Frage ungelöst, wie Expertensysteme die eigenen Grenzen abschätzen sollen und an "Kollegen" überweisen sollen, wenn sie nicht mehr kompetent sind und eigentlich ein anderer Bereich aufgesucht werden muß.

Es gibt also eine Fülle von Schwierigkeiten, Risiken, Problemen und offenen Fragen, die sich sicher nicht von heute auf morgen werden bearbeiten lassen.

6. Hoffnungen und Möglichkeiten

Demgegenüber sind freilich auch die Hoffnungen groß, die man mit gewissem Recht in medizinische Expertensysteme setzt.

Man hofft, die Schere zwischen Bedarf und möglichem Angebot an medizinischen Leistungen zu verkleinern. Der Wissenszuwachs in der Medizin könnte zumindest teilweise abgefangen und aufgearbeitet werden. Die großen Unterschiede in der Versorgung zwischen verschiedenen Gebieten und Regionen, zwischen Stadt und Land, zwischen armen und reichen Ländern könnten sich verkleinern. Man hofft auf eine schnellere Wissensverbreiterung. Eine erhöhte Diagnosesicherheit wäre ein entscheidender Vorteil. Eine gezieltere Therapie könnte zu Kosteneinsparungen führen. Vielleicht sind Expertensysteme eine der wenigen Möglichkeiten, den Kostenanstieg in der Medizin aufzuhalten, ohne die Leistungen für Patienten asymmetrisch werden zu lassen oder zu drosseln. Die Fehlerüberwachung ärztlicher Entscheidungen zur Qualitätsicherung wäre eine wesentliche Hoffnung. Schließlich sehe ich in der Formalisierung der Probleme der Medizin durch Expertensysteme einen großen Vorteil. Dadurch wird ein besserer Ausgangspunkt für die nächste Entwicklungsrunde der Medizin erreicht, z.B. über Konsistenzprüfungen medizinischen Wissens.

Expertensysteme sind eine verführerische Forschungsaufgabe, die zur Zeit viele Gruppen anzieht. Wenn es gelingt, das sichere medizinische Fachwissen in einem Rechner zu organisieren, aufzubereiten, systematisch durchzusuchen und in jedem schwierigen Fall zweckmäßige diagnostische prognostische und therapeutische Vorschläge zu machen, würde der Rechner als intellektuelles Werkzeug das Medizinsystem verändern.

7. Zukunftsaspekte

Die Unübersichtlichkeiten der Welt sind durch eine neue Unübersichtlichkeit reicher geworden: Künstliche Intelligenz und Expertensysteme in der Medizin. Wir gehen mit ihnen um, wie mit anderen Unübersichtlichkeiten auch: Vorsichtig, aber offen, erproben wir empirisch die Einsatzgebiete.

(Der Unterschied zwischen formalen Modell und Realität ist noch beträcht-

lich. Es ist durchaus eine Frage, welches Ausmaß an Formalisierung in der Medizin sinnvoll ist. Inwieweit soll der Arzt zum Registrierer, zum halbblinden Fühler eines Expertensystems werden?

Expertensysteme sind ein moderner Versuch, die Realität in Stückchen weit mit logischen Strukturen einzufangen. Die Logik ist nun schon öfters an der Realität gescheitert. Bei aller Kritik wird aber vermutlich etwas Brauchbares übrigbleiben bei diesem Versuch, wie bei allen ernsthaften Versuchen, sich mit der Realität auseinanderzusetzen.

Der alte Traum, gesichertes Wissen beliebig verfügbar zu haben, automatisch auf Konsistenz zu prüfen und zu verteilen, könnte in Teilbereichen in Stückchen weit wahrer werden. Wird es gelingen, Expertensysteme als große Kunstwerke zu bauen, deren Strukturen Jahrhunderte überdauern können, wie frühere Gebäude und Gedankengebäude? Ich weiß es nicht.

Wenn sich Expertensysteme in der Praxis nicht bewähren, ist lediglich eine neue Variante unserer intellektuellen Kultur entstanden, ein höherer Unsinn in attraktiver Form, etwas, das seinen Wert im Spiel hat. Wenn sie sich aber bewähren, welche Szenarios für die Zukunft sind denkbar?

1.) Konservatives Szenario:

Expertensysteme setzen sich nur in wenigen eng begrenzten Anwendungsfeldern der Medizin durch, und zwar

- als Berater des Arztes für Spezialfragen
- als Lehrsystem zur Verbesserung des Unterrichts und zur Übertragung neuen Wissens
- zur Verbesserung der Qualität ärztlichen Handelns in konkreten, begrenzten Anwendungsfeldern

Seite 18 fehlt

Expertise benutzen wie das Fernsehen heute.

Zwischen den beiden Szenarios sind viele Abstufungen denkbar.

Expertensysteme in der Medizin haben ein beachtliches Potential. Die Diskussion um sie wird nicht so rasch enden. Auch die Medizin kann nicht ohne weiteres an der Auseinandersetzung mit Expertensystemen vorbeigehen.

Was folgt daraus für Sie, für Führungskräfte in der Medizin?

- 1.) Die Entwicklung kritisch zu beobachten.
- 2.) Entwicklungs- und Forschungsaufgaben zu unterstützen.
- 3.) Bei einer etwaigen Einführung die genaue Prüfung, Evaluierung und Freigabe sicherzustellen.

Wir haben für jede ärztliche Entscheidung und für jede ärztliche Behandlung ein Ganzes im Sinn, unser Paradigma für jede Arzt-Patient-Beziehung ist ein individualisiertes Kunstwerk. Die Formalisierung durch Expertensysteme allein überzeugt nicht. Der Sachverstand des Kenners kann durch Expertensysteme jedoch systematisiert und erweitert werden. Besseres Erkennen und Handeln werden freilich auch mit Expertensystemen die Kunst des Erfahrenen bleiben.

BISHERIGE EDV-ANWENDUNGEN IN DER MEDIZIN

abgegrenzte Teilbereiche und sekundäre Hilfs-
funktionen, z.B.:

Auswertung von Studien
Verwaltungsunterstützung
Teilautomatisierung, z.B. EKG, Labor
Bestandteil von Geräten, z.B. CT

ZUKÜNFTIGE EDV-ANWENDUNGEN IN DER MEDIZIN

Expertensysteme gehen an den Kern der Medizin, z.B.

Herantasten an die richtige Diagnose
Auswahl der optimalen Therapie

- Folie 1 -

GLIEDERUNG

Mögliche Ansätze zu Diagnoseunter-
stützung

Was ist "künstliche Intelligenz" ?
Was sind "Expertensysteme" ?

Bausteine und Begriffe für Experten-
systeme

Beispiele für Expertensysteme

Schwierigkeiten, Risiken, offene Fragen

Möglichkeiten und Hoffnungen

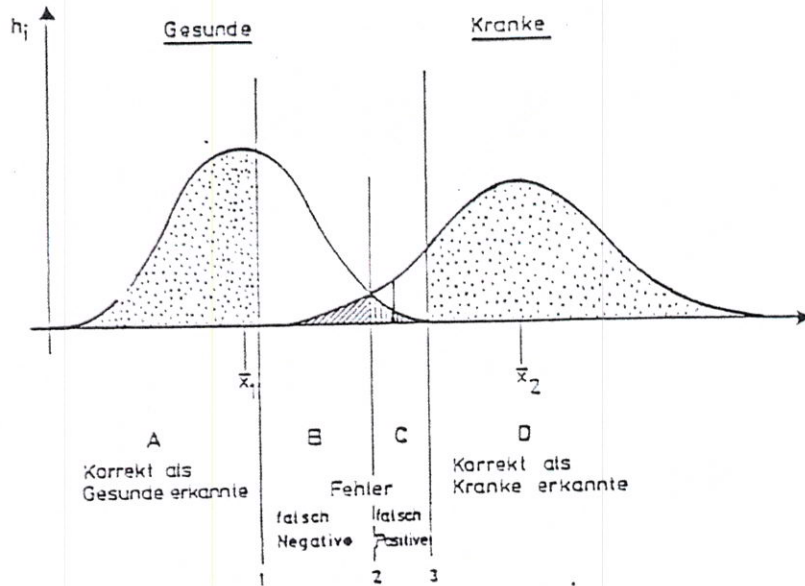
- Folie 2 -

ANSÄTZE ZUR DIAGNOSEUNTERSTÜTZUNG

1. Handlungsanweisungen und Protokolle
2. Suchen ähnlicher Fälle in Datenbanken
3. Mathematische Modelle physiologischer Vorgänge
4. Statistische Zuordnungsverfahren
(Diskriminanzanalyse)
5. Mustererkennungsverfahren
6. Bayes' scher Ansatz
7. Entscheidungstheoretischer Ansatz
8. Symbolic Reasoning
Künstliche Intelligenz

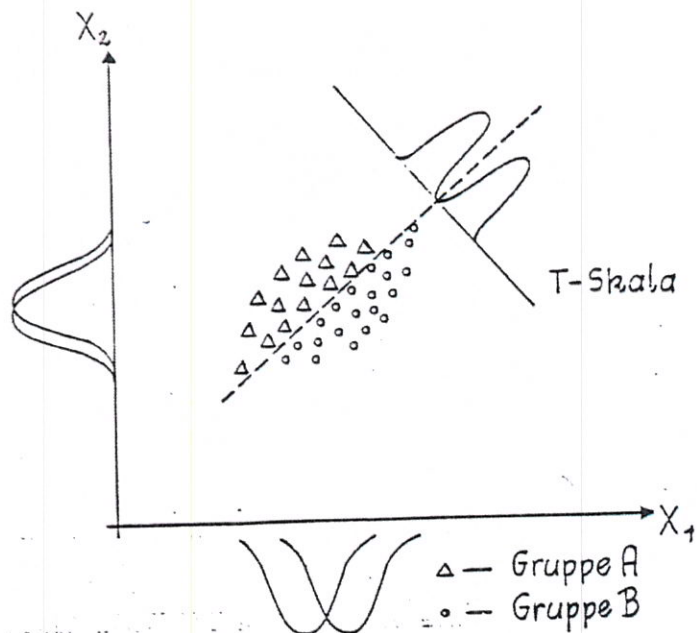
- Folie 3 -

Stat. Zuordnungsproblem bei 1 quant. Merkmal



- Folie 4 -

DISKRIMINANZANALYSE



- Folie 5 -

Bayesscher Satz

$$P(D_i | S_j) = \frac{P(S_j | D_i) \cdot P(D_i)}{\sum_{i=1}^k \{P(S_j | D_i) \cdot P(D_i)\}}$$

- Folie 6 -

Symptom - Diagnosematrix

	D_1	D_2	$\dots$	D_i	$\dots$	D_k
S_1	0	5				1
S_2	2	0				3
$\vdots$						
S_j	7	3		b_{ji}		0
$\vdots$						
S_n	1	5				2
	d_1	d_2		d_i		d_k

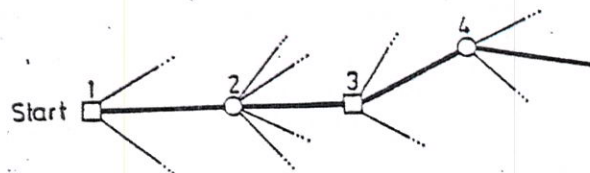
Es gibt nur $D_1 \dots D_k$
 S_j unabhängig
 $N =$ alle beob. Fälle
 $d_i =$ alle Fälle mit D_i

$$P(D_i) = \frac{d_i}{N} : \text{a-priori-Wahrscheinlichkeiten}$$

$$P(S_j | D_i) = \frac{b_{ji}}{d_i} : \text{müssen bekannt sein}$$

Gesucht: $P(D_i | S_j)$ für alle D_i bei bekannten S_j

- Folie 7 -



1 und 3 sind Entscheidungsknoten
 2 und 4 sind Zufallsknoten

Entscheidungstheoretischer Ansatz
Schematischer Entscheidungsbaum

- Folie 8 -

"Künstliche Intelligenz" ist ein Zweig
der Informatik
der sich mit Verfahren beschäftigt,
die Computer in die Lage versetzen
Dinge zu tun, die Menschen als
intelligent erscheinen lassen,
oder die ein Mensch als intelligent
bezeichnen würde.

(z.B. Winston, Artificial Intelligence, 1977)

- Folie 9 -

GRUNDDESTANDTEILE VON EXPERTENSYSTEMEN

Wissensbasis

Problemlösungsstrategien (Schlußfolge-
Mechanismen)

Erklärungskomponente

Dialogteil

Wissensakquisition

- Folie 10 -

WISSENSBASIS

Fakten

Regeln

Gewißheitsfaktoren

- Folie 11 -

PROBLEMLÖSUNGSSTRATEGIEN

Vorwärts- Rückwärtsverkettung

Zerlegung in Teilaufgaben

Abarbeiten eines hierarchischen Lösungsbaums

Generieren von Lösungsbäumen u. frühes
Ausscheiden schlechter Lösungen

Direktes Aktivieren der interessantesten
Hypothesen und ihre Überprüfung

Schrittweises Eingrenzen der Lösungen

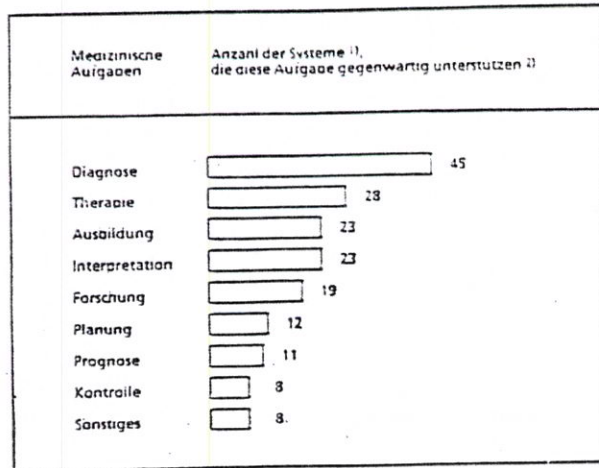
Differentialdiagnostik: Reduktion auf wenige
Alternativen und deren Lösung

Blackboard: Koordination verschiedener Wissens-
quellen

Auswahl der geeigneten Abstraktionsebene

- Folie 12 -

Aufgaben gegenwärtiger medizinischer Expertensysteme

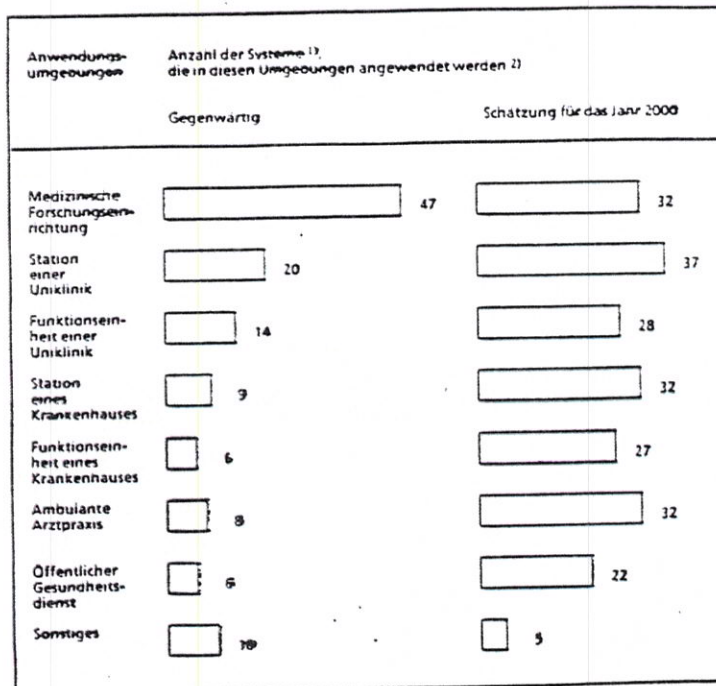


¹⁾ Anzahl der untersuchten Systeme $n = 64$
²⁾ Mehrfachnennungen möglich

Aus: MEDIS - Institut 1986

- Folie 13 -

Anwendungsumgebungen von medizinischen Expertensystemen



¹⁾ Anzahl der untersuchten Systeme $n = 64$
²⁾ Mehrfachnennungen möglich

Aus: MEDIS - Institut 1986

- Folie 14 -

BEISPIELE FÜR EXPERTENSYSTEME

MYCIN
 INTERNIST
 ABEL

- Folie 15 -

JA

Ich bin das Computerprogramm Mycin und wurde entwickelt, um Sie bei der Auswahl der geeigneten Therapie für eine Infektionskrankheit zu beraten. Ich gehe davon aus, daß Sie einen Patienten haben, von dem bereits eine Bakterienkultur, ich nenne sie in Zukunft KULTUR 1, angelegt wurde.

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen.....

- 1) Name des Patienten? Hans im Glück
- 2) Geschlecht? männlich
- 3) Alter? 21
- 4) Von wo wurde der Abstrich Kultur 1 genommen?
Blut = Blut

... mögliche Antworten des Arztes sind immer:

unb - unbekannt

? - gebe mir Beispiele für die hier möglichen Antworten

?? - nenne mir alle möglichen Antworten

Regel - nenne mir die Regel, die verwendet wurde

FA - ich möchte nun beliebige Fragen stellen und deshalb in den Frage-Antwort Modus gehen

Warum - erkläre mir, warum die letzte Frage an mich gestellt wurde

zurück x - laß uns bei Frage x noch einmal beginnen

Stop - die Konsultation ist sofort abzubrechen

Hilfe - Liefert diese Aufzählung

- 5) Vor wievielen Tagen wurde die Blutkultur angelegt?

2

Ich werde mich jetzt auf den ersten Organismus dieser KULTUR 1 beziehen und ihn nennen:

---Organismus 1---

- 6) Um welchen Organismus handelt es sich bei Organismus 1?

unb

- 7) Wie ist die Gramfärbung des ORGANISMUS 1?

Erwartete Antworten sind:

saurebeständig grampos gramneg
gramnegativ

- 8) Handelt es sich bei diesem ORGANISMUS 1 um Stäbchen oder um Coccusbakterien?

Stäbchen

- 9) Wurden noch andere signifikante Erreger (die aber nicht mehr bekämpft werden müssen) innerhalb der letzten ca. 30 Tagen erkannt?

yeah

--- KULTUR 2 ---

--- ORGANISMUS 2 ---

--- ORGANISMUS 3 ---

--- ORGANISMUS 4 ---

...
Bis hierher wurden Fakten gesammelt. Nun beginnt der interessantere Teil des Arzt-Mycin Dialoges. In dem Annahmen gemacht und für diese Annahmen weitere Aussagen erfragt werden, um die Annahmen zur Gewißheit werden lassen zu können oder sie zu verwerfen.

- 19) Von woher sind die Erreger vermutlich an diesen Ort gekommen?

Regel

Regel 121

Wenn: 1) die Stelle von der die Kultur genommen wurde, normalerweise steril ist und

2) die Stelle an der der Erreger eingedrungen ist, dieselbe Stelle ist an der vorher ein Erreger eingedrungen war und dieser vorige Erreger hat dieselbe Identität wie der jetzige Erreger

Dann: ist anzunehmen (0,3), daß alle Erreger, die gefunden wurden, dieselbe Identität haben.

- ...
26) Wurden am Patient-1 irgendwelche chirurgischen Eingriffe oder andere Eingriffe am Blasen-Trakt vorgenommen?

Warum

Ich versuche die Identität des ORGANISMUS-1 zu finden.

Ich weiß

die Stelle an der der Erreger eingedrungen ist: obere Harnwege

die Morphologie des Organismus: Stäbchenbakterie
die Gramfärbung des Organismus: gramnegativ
die Kultur wurde angelegt: vom Blut

Deshalb, wenn

- 1) der Patient keine Eingriffe an den Harnwegen hatte und

- 2) der Patient nicht wegen einer Harnwege-Infektion behandelt wurde

dann

ist es anzunehmen (0,6), daß die Identität des Organismus E.coli ist.

(Regel 158)

J.

Meine Therapieempfehlung basiert auf folgenden evtl. vorkommenden Erregern, die signifikant sind:

- 1) die Identität d. Organismus kann sein PSEUDOMONA
- 2) die Identität d. Organismus kann sein KLEBSIELLA
- 3) die Identität d. Organismus kann sein ENTEROBACTER
- 4) die Identität d. Organismus kann sein E. COLI
- 5) die Identität d. Organismus kann sein PROTEUS

(Genaue Spezifikation ist unbekannt.)

- Folien 16-20 -

unterstrichene Worte wurden vom Arzt eingegeben

SCHWIERIGKEITEN

Lückenhaftigkeit, Unschärfe, Komplexität
und Inkonsistenz medizinischen Wissens,
widersprüchliche Expertenmeinungen

Unschärfe Problemlösungsstrategien
mit inkonsistenten Ergebnissen

Fehlen eines Gesamtkonzepts

Komplexität auf der technischen Ebene

Akzeptanzprobleme

- Folie 21 -

OFFENE FRAGEN

Datenlage u. Datenbeschaffung unzureichend

Schnittstelle zu Med. Datenbanken fehlt

Berücksichtigung zeitlicher Abläufe fehlt

Spracheingabe durch Experten
Standard-Fachsprache

"Common sense" fehlt, soziale Strukturen werden
nicht berücksichtigt

Grenzen des Expertensystems werden nicht erkannt:
Wo hört die Kompetenz auf?

- Folie 23 -

RISIKEN

Inkompetente Handhabung

Fehlfunktion durch mangelnde Evaluierung

PROBLEME

Ärztliche Haftung

Datenschutz

Kosten der Systembeschaffung und Unter-
haltung

Überdiagnostik und Übertherapie

- Folie 22 -

HOFFNUNGEN

Schere zwischen Bedarf und möglichem
Angebot verkleinern

Wissenszuwachs abfangen

Ausgleich der Unterschiede der Versor-
gung

Schnellere Wissensverbreitung

Erhöhung der Diagnosesicherheit

Gezieltere Therapie

Fehlerüberwachung ärztlicher Entschei-
dungen

Formalisierung der Probleme der Medizin

- Folie 24 -