

# Das Konzept der Therapievollständigkeit medizinischer Wissensbasen

Frank Rogler\*  
Universität Leipzig  
Institut für Informatik  
Postfach 920  
04009 Leipzig

Volker Dötsch\*\*  
Universität Leipzig  
Institut für Informatik  
Postfach 920  
04009 Leipzig

## Zusammenfassung

Das Stellen von Diagnosen ist ein in verschiedenen Gebieten in ähnlicher Form wiederkehrendes Problem. Ziel ist es, unter Nutzung von Beobachtungen des fehlerhaften Systems die Ursachen für das aktuelle Fehlverhalten zu ermitteln.

In den bisher vorliegenden Theorien der modellbasierten Diagnose wird die Therapie als beeinflussender Faktor vernachlässigt und als externes (nachfolgendes) Problem betrachtet. Da diagnostische Expertensysteme in der Medizin aber den jeweiligen Untersuchungs- und Behandlungsmöglichkeiten des Arztes einer bestimmten Spezialisierungstiefe entsprechen sollten, scheint es angebracht, in eine Theorie der Diagnose auch das Konzept der Therapie einzubringen.

## 1 Einleitung und Übersicht

Das Stellen von Diagnosen ist ein in verschiedenen Gebieten in ähnlicher Form wiederkehrendes Problem. Dabei soll unter Nutzung von Beobachtungen des fehlerhaften Systems durch diagnostisches Schließen die Ursachen für das aktuelle Fehlverhalten ermittelt werden. In den letzten Jahren hat dabei der Ansatz der modellbasierten Diagnose zunehmend an Bedeutung gewonnen. Grundsätzlich gibt es dabei zwei Möglichkeiten, die Fehlerursache zu ermitteln. (1) Man nutzt ein Modell des Normalverhaltens (ohne Fehler) des zu untersuchenden Systems (konsistenzbasierte Diagnose, vergl. [Rei87]) oder (2) es wird ein Modell über das fehlerhafte Verhalten des Systems benutzt (abduktionsbasierte Diagnose, siehe auch [CT91]), um im aktuellen Betriebszustand die Ursache des Fehlverhaltens zu ermitteln. Daneben existieren auch Mischformen, in denen sowohl das korrekte als auch das fehlerhafte Verhalten modelliert werden.

In der Medizin ist es oftmals einfacher, bei Fehlfunktionen eines Organs die Auswirkungen (Fehlsteuerungen) zu bestimmen als die komplexen Zusammenhänge dieses einen Organs (ohne Fehlfunktion) mit dem gesamten Organismus. Deshalb liegt es nahe, bei modellbasierter Diagnose in der Medizin abduktionsbasiert vorzugehen.

---

\*e-mail: rogler@aix520.informatik.uni-leipzig.de

\*\*e-mail: volkerd@informatik.uni-leipzig.de

In den existierenden Theorien der modellbasierten Diagnose wird die Therapie als beeinflussender Faktor oft vernachlässigt und als nachfolgendes, separates Problem betrachtet. Dabei spielt es beim Vorgang der Diagnose durchaus eine Rolle, welche Möglichkeiten zur Therapie der Diagnostizierende hat. In einigen Fällen reicht es sogar aus, wenn man, ohne die Ursache eines Fehlverhaltens zu kennen, eine Therapie festlegen kann. Da diagnostische Expertensysteme den jeweiligen Untersuchungs- und Behandlungsmöglichkeiten des Arztes einer bestimmten Spezialisierungstiefe (Facharzt für Allgemeinmedizin, Facharzt für innere Medizin, Kardiologe, ...) entsprechen sollten, scheint es angebracht, in eine Theorie der Diagnose auch das Konzept der Therapie einzubringen. Dadurch ist es nicht mehr unbedingt das Ziel, mit einem Diagnosesystem die genaue Ursache des Fehlverhaltens zu ermitteln, sondern eine von mehreren Behandlungsmöglichkeiten auszuwählen.

Aufgrund gemeinsamer Therapiemöglichkeiten verschiedener Krankheiten werden therapeutische Äquivalenzklassen gebildet. Das sind Klassen von Krankheiten, die in der ihnen zur Verfügung stehenden Therapiemenge übereinstimmen. Das Stellen einer Diagnose bedeutet nun, anhand der beobachteten Symptome die entsprechende therapeutische Äquivalenzklasse zu bestimmen. Somit hat man gleichzeitig eine oder mehrere Therapiemöglichkeiten gefunden. Mit dem Begriff der abstrakten Diagnose läßt sich im Abschnitt 3 analog zu den Begriffen *semantische Vollständigkeit* und *diagnostische Vollständigkeit* einer Wissensbasis (vergl. [Her93]) das Kriterium der *therapeutischen Vollständigkeit* einer Wissensbasis formulieren.

## 2 Allgemeine Begriffe und Probleme

Auf den nächsten Seiten wollen wir die Berücksichtigung der Therapie bei der modellbasierten Diagnose in der Medizin näher betrachten. Deshalb erscheint es an dieser Stelle notwendig, ein gemeinsames Begriffsverständnis für einige im allgemeinen Sprachgebrauch übliche Begriffe zu schaffen.

**Diagnose** wird im allgemeinsprachlichen Lexikon [Meh91] als „Feststellung von Krankheiten durch Diagnostik“ erklärt. Dabei wurde leider übersehen, daß sich Diagnose durchaus nicht nur auf das Gebiet der Medizin beschränkt. Von Diagnose spricht man auch im Bereich der Technik, wenn es gilt, die Ursache des Nichtfunktionierens von technischen Systemen zu „erkennen und zu benennen“. Raymond Reiter hingegen definiert in [Rei87] den Begriff Diagnose bezüglich seiner Diagnosestrategie. Deshalb wollen wir uns der Begriffsbildung aus [Gam96] anschließen: „Unter Verwendung von Beobachtungen über das aktuelle Verhalten eines Systems dient diagnostisches Schließen dem Auffinden fehlerhafter Systemteile, welche für die Beobachtungen verantwortlich sind.“ Gamper bezeichnet als *diagnostisches Schließen* den Prozeß, in dem Symptome (Beobachtungen) ausgewertet werden, um zu einem Resultat (der Diagnose) zu kommen. Nun ist es aber weit verbreitet, sowohl dieses Resultat als auch den Prozeß als Diagnose zu bezeichnen. Wir werden in dieser Arbeit versuchen, wo nötig, den Unterschied kenntlich zu machen. Abhängig von zugrunde liegender Wissensbasis und betrachtetem Problem kann man entweder Diagnosen erhalten, die nur eine Krankheit als Ursache angeben (*single fault diagnosis*, beispielsweise Hepatitis-B-Virus Infektion), oder sogenannte *multiple fault diagnoses*, bei denen mehrere Krankheiten die Beobachtungen erklären. Beispielsweise werden die akuten Bauchschmerzen eines Patienten durch sein Magengeschwür und eine gleichzeitig auftretende Blinddarmreizung hervorgerufen.

Als **Symptom** bezeichnen wir einen einzelnen beobachtbaren Aspekt des Sy-

stemverhaltens (in Gampers Begriffsbildung auch als „Beobachtung“ bezeichnet). Besonders auf nichtmedizinischem Gebiet wird der Begriff *Fehler* als Synonym benutzt, wenn die Beobachtung nicht dem Normalverhalten entspricht.

Als **Krankheit** bezeichnen wir die Ursache des Fehlverhaltens. Die Krankheit verursacht also erst die Symptome. Insbesondere auf technischem Gebiet wird dafür der Begriff *Defekt* verwendet.

Unter **Therapie** verstehen wir erfolgversprechende Maßnahmen, die man gegen das gezeigte fehlerhafte Verhalten unternehmen kann. In der Medizin spricht man auch von einer Behandlung der Krankheit, in der Technik von *Reparatur*. Da ein Arzt den Heilungserfolg im allgemeinen nicht garantieren kann, wollen wir diesen Anspruch auch nicht an das wissensverarbeitende System stellen (deshalb nur *erfolgversprechende* Maßnahmen). Das Auftreten von Nebenwirkungen wollen wir vorerst nicht betrachten. Man kann diese Überlegung aber bei der Auswahl von einer aus mehreren Therapiemöglichkeiten berücksichtigen oder als eine Art Rückkopplung bei bereits aufgetretenen Nebenwirkungen in die Wissensverarbeitung mit einbeziehen.

Man unterscheidet in der Medizin zwischen symptomatischer und kausaler Therapie. Von kausaler Therapie spricht man, wenn in deren Folge die Symptome nicht wieder auftreten. Kausal ist zwar nicht als Ursache der Ursache zu verstehen (z.B. hat ein Knochenbruch eine Ursache - man ist bei Glatteis gestürzt - , die ein Arzt natürlich nicht behandeln kann), dennoch spricht der Mediziner von einer kausalen Therapie, weil der Patient – im Idealfall – nach der Behandlung keine Beschwerden mehr hat. Als symptomatische Therapie bezeichnet man die Behandlung der Symptome (nicht der Ursache der Symptome). Dabei kann es vorkommen, daß die Symptome nach der Therapie wieder auftreten, sie können aber auch (scheinbar durch die Therapie) beseitigt worden sein. Für den ersteren Fall könnte man sich einen Heuschnupfenpatienten vorstellen. Wenn die Wirkung der eingenommenen Medikamente nachläßt, sind die Symptome wieder vorhanden. Als Beispiel zum zweiten Fall stelle man sich folgende Situation vor: Ein Patient ist erkältet, hat starken Schnupfen, bekommt Medikamente, um freier atmen zu können und nach etwa einer Woche ist er wieder gesund. Hier haben die Medikamente nicht den Schnupfen beseitigt, sondern nur für die Dauer des Heilungsprozesses die Symptome gelindert.

Generell wäre es wünschenswert, eine Krankheit immer kausal zu therapieren, es gibt jedoch verschiedene Möglichkeiten, warum dies nicht getan wird oder getan werden kann:

- *unbekannte Ursache*: die Wissenschaft ist noch nicht in der Lage, die genaue Ursache bestimmter Symptome zu erklären.
- *bekannte Ursache, aber nicht kausal behandelbar*: in diesem Falle sind die Ursachen zwar bekannt, aber es wurde noch keine Möglichkeit gefunden, sie wirkungsvoll zu bekämpfen, das ist z.B. bei Aids, Multiple-Sklerose oder auch verschiedenen Allergien der Fall.
- *eine kausale Therapie ist nicht wirkungsvoller als eine symptomatische*: um die symptomatische Therapie zu rechtfertigen, muß man in diesem Falle noch hinzufügen, daß die kausale Therapie oft teurer ist als die symptomatische. Ein Beispiel sind Viruserkrankungen, deren Ursachen man zwar ermitteln und bekämpfen kann, aber die kausale Therapie ist trotz eines ungleich höheren

Aufwands nicht wirkungsvoller als eine symptomatische (siehe auch einführendes Beispiel im nächsten Abschnitt).

- *kausale Therapie zu riskant*: in diese Kategorie gehören Krankheiten, die man zwar kausal behandeln kann, deren Behandlung aber für den Patienten ein zu hohes Risiko darstellt, beispielsweise riskiert man bei einer Operation nach einem Bandscheibenvorfall Schädigungen am Rückenmark, oder: eine Operation kann insbesondere bei Menschen hohen Alters eine zu große Belastung für Herz und Kreislauf sein.
- *Zeitnot*: in manchen Fällen wird der Mediziner durch den Faktor Zeit daran gehindert, die wirkliche Ursache von Symptomen zu ermitteln. Wenn beispielsweise Hinweise auf eine Vergiftung des Patienten vorliegen, muß der Arzt Maßnahmen zur Stabilisierung des Zustands des Patienten einleiten, noch bevor er das genaue Gift ermittelt kann.

Diese Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, zeigt aber, daß es nicht immer nötig und auch nicht immer möglich ist, die kausale Ursache eines Fehlverhaltens zu ermitteln. Dabei soll hier noch darauf hingewiesen werden, daß man ähnliche Probleme auch außerhalb der Medizin vorfindet. Man denke nur daran, daß es kostengünstiger sein kann, in einer technischen Anlage eine komplette Baugruppe auszuwechseln, als das konkrete defekte Bauelement zu suchen. Auch hat man in der Technik in der Regel einen (fast) unbegrenzten Ersatzteilverrat bzw. kann ältere Geräte komplett durch neue ersetzen, wenn sich eine Reparatur nicht mehr lohnt. Das ist bei Patienten in der Medizin allein schon aus ethischen Gründen nicht möglich.

Als ein weiterer Faktor im Diagnoseprozeß soll hier noch der Diagnostizierende eingeführt werden. Von dessen Wissensstand und technischen Möglichkeiten hängt ab, wie genau die Diagnose sein kann und muß. So überweist z.B. der Facharzt für Allgemeinmedizin einen Patienten mit der Diagnose „Verdacht auf Stoffwechselkrankheit“ an den Facharzt für Innere Medizin, der dann die Diagnose „Störung im Eiweißstoffwechsel“ stellt, weil jeder aufgrund seiner Spezialisierung über anderes Wissen und unterschiedliche Möglichkeiten der Therapie verfügt. Zur Berücksichtigung solcher Spezialisierungen werden wir später den Begriff der *stufenweisen Diagnose* einführen.

## 3 Das theoretische Konzept

### 3.1 Motivation

#### Ein einführendes Beispiel

Bei einem Patient liegt eine Viruserkrankung vor. Anhand der auftretenden Symptome sind nur die Viren  $A, B, C$  und  $D$  möglich. Diese gehören zu einer gemeinsamen Gruppe von Viren und rufen sehr ähnliche Erkrankungen hervor (sie sind ohne Laboruntersuchungen nicht zu unterscheiden). Zu jedem dieser Viren gäbe es nun noch drei spezielle Ausprägungen (also  $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, \dots, D_3$ ), die wieder nur durch Laboruntersuchungen unterschieden werden können. Für jeden dieser Viren gibt es ein spezifisches Gegenmittel. Des weiteren existiert ein Breitbandpräparat, welches gegen die genannten Viren gleichermaßen anwendbar ist. Die Spezialpräparate sind in der Regel wesentlich teurer, oftmals nicht vorrätig, dafür aber wirksamer als das Breitbandpräparat.

Stellt ein Arzt bei einem Patienten anhand der auftretenden Symptome eine solche Viruserkrankung fest, wird er im allgemeinen das Breitbandpräparat verordnen. Dies geschieht einerseits aus Kostengründen (aufwendige Laboruntersuchungen entfallen, das Breitbandpräparat ist preiswerter) und andererseits aus Zeitgründen (Laboruntersuchungen dauern eine gewisse Zeit, eventuell ist eine Überweisung zu einem anderen Facharzt nötig, das Medikament muß erst bestellt werden). Außerdem ist der erhöhte Aufwand für eine genauere Analyse auch für den Patienten (Weg zum Labor, erneuter Arztbesuch zur Auswertung der Ergebnisse, usw.) nicht immer zumutbar, wenn es wie hier ein solches Breitbandpräparat gibt. Der Arzt entscheidet sich also für eine Therapie, ohne die *genaue* Ursache (etwa Virus  $B_2$ ) zu kennen, obwohl es Möglichkeiten gibt, diese zu bestimmen, um anschließend ein spezielles Medikament zu verordnen. Dabei nimmt er sogar in Kauf, daß das Breitbandpräparat nicht genauso wirksam ist wie das Spezialpräparat. Bei einer solchen Entscheidung wird im allgemeinen das Gesamtbild, welches der Arzt vom Patient hat, sowie die Erfahrung des Arztes eine wichtige Rolle spielen.

Wird der Arzt von einem Diagnosesystem ohne Berücksichtigung der Therapiemöglichkeiten unterstützt, fordert das System, das ja die genaue Ursache diagnostizieren soll, die entsprechenden Laborwerte an, um anhand dieser die spezielle Virenausprägung (z.B.  $B_2$ ) zu bestimmen. Erst jetzt wird nach einer geeigneten Therapiemöglichkeit gesucht. Die gestellte Diagnose ist zwar korrekt, aber unter Berücksichtigung der Therapiemöglichkeiten des Arztes hätte eine Therapie schneller eingeleitet werden können und wäre außerdem aufwands- und kostengünstiger gewesen.

Als erster Ansatz, diese Diskrepanz zu beseitigen, könnte man das System veranlassen, jede „Zwischendiagnose“ auszugeben. So könnte der Arzt den Diagnosevorgang abbrechen, wenn er zu einer solchen eine geeignete Therapie gefunden hat. Leider scheitert diese Vorgehensweise an der praktischen Handhabbarkeit und somit an der zu geringen Akzeptanz durch den Nutzer. Denn einem Arzt werden die Ausgaben „der Patient ist krank“, „sein körpereigenes Abwehrsystem ist geschwächt“, „er hat eine Infektion“, usw. nur sehr wenig Information bieten. Es besteht somit die große Gefahr, beim Überlesen solcher Informationen auch andere, sehr wichtige Hinweise zu übersehen.

Das andere Extrem, nur die „Enddiagnose“ (also die Krankheitsursache) auszugeben, ist, wie oben bereits angedeutet, auch keine gute Lösung. Außerdem sollten die Inferenzschritte sowie die gestellte Diagnose eines medizinischen Diagnosesystems von dem das System benutzenden Arzt nachvollziehbar (erklärbar) sein, um die Akzeptanz solcher Systeme zu erhöhen (vergl. [GS96]). Dazu sollten *wichtige* Zwischendiagnosen ausgegeben und alle anderen nur auf Wunsch angezeigt werden. Festzulegen, welche Zwischendiagnosen für einen Arzt wichtig sind, ist ohne Berücksichtigung der dem Arzt zur Verfügung stehenden Therapiemöglichkeiten in den meisten Fällen nicht möglich. Desweiteren sollte auch das vom System benutzte Wissen in etwa dem des Arztes entsprechen. Beispielsweise würde ein Facharzt für Allgemeinmedizin wohl nicht die vom System vorgeschlagene Therapie eines operativen Eingriffs kritiklos akzeptieren, sondern den Patient trotzdem zu einem Spezialisten überweisen. Hier sollte ein Diagnosesystem zwar eine Diagnose stellen können, aber als Therapie die Überweisung zu einem anderen Facharzt vorschlagen (ausgenommen seien hier solche Fälle wie akute Blinddarmreizungen, bei denen eine sofortige Operation erforderlich ist).

Es lassen sich nun zwei wichtige Erkenntnisse formulieren, auf die in den nächsten Abschnitten weiter eingegangen werden soll.

- Therapiemöglichkeiten sollten, wo dies möglich ist, in den Prozeß der Diagnostik einbezogen werden.
- Wissen und Diagnosestrategie des Systems sollten weitestgehend dem des Nutzers (Mediziners) entsprechen.

Die konsequente Umsetzung des zweiten Punktes führt zu einem Stufenmodell beim Stellen von Diagnosen. Wir werden darauf im Abschnitt 3.3 näher eingehen.

### 3.2 Einige Begriffe, Voraussetzungen

Sei  $W$  die für die zu untersuchende Domäne relevante Teilmenge der Eigenschaften und Beziehungen der realen Welt. Eine Wissensbasis  $KB$  für  $W$  ist eine Menge von Aussagen, so daß gilt  $W \models KB$ .  $KB$  bezeichnen wir als vollständig für  $W$ , wenn für jede Aussage  $p$  gilt: aus  $W \models p$  folgt  $KB \models p$ . Das wird dadurch erreicht, daß man fordert, daß  $W$  das Herbrand-Modell von  $KB$  ist.

Nach [Her93] ist eine Wissensbasis *diagnostisch vollständig*, wenn durch die Hinzufügung der maximalen Menge von Beobachtungen die in der Wissensbasis enthaltenen Diagnosen eindeutig ermittelt werden können. Es kann also nicht der Fall eintreten, daß trotz aller möglichen Beobachtungen zwischen zwei oder mehr Diagnosen nicht entschieden werden kann.

Eine Wissensbasis ist *semantisch vollständig*, wenn die Auswertung zweier identischer Mengen von Beobachtungen immer das gleiche Resultat ergibt (vergl. [Her93]).

Ein *therapeutischer Frame*  $\mathcal{TF}$  ist ein 5-Tupel  $(W, D, OBS, T, appl)$ , wobei  $W$  wieder die für die zu untersuchende Domäne relevante Teilmenge der Eigenschaften und Beziehungen in der realen Welt enthält. Die Menge  $D$  enthält die zu betrachtenden Krankheiten,  $OBS$  ist die Menge der möglichen Beobachtungen,  $T$  die Menge der aufgrund der Wissensbasis  $KB$  festlegbaren therapeutischen Äquivalenzklassen und die binäre Relation  $appl(t, d)$  sagt aus, ob die Therapie  $t$  bei gestellter Diagnose  $d$  erfolversprechend anwendbar ist.

Weiterhin gehen wir davon aus, daß die zugrunde liegende Wissensbasis Wissen über fehlerhaftes Verhalten enthält. Damit ist die zugrunde liegende Methode des Diagnoseprozesses abduktionsbasiert.

Außerdem werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Überprüfung eines Symptoms hat keinen Einfluß auf das fehlerhafte System.
- Das Funktionieren des Systems bleibt zeitlich weitestgehend konstant. Hiermit ist gemeint, daß man davon ausgehen kann, daß beispielsweise die Ergebnisse einer Laboruntersuchung auch am nächsten Tag noch gültig sind.<sup>1</sup>
- Wenn eine Komponente des Systems fehlerhaft ist, dann ist nicht garantiert, daß sich dieser Fehler in jedem Systemzustand zeigt.
- Das Verhalten des Systems kann durch eine Menge von Zuständen beschrieben werden.

---

<sup>1</sup>Im Gegensatz dazu ändert sich zum Beispiel der Druck in einem Behälter einer chemischen Anlage durch ein Leck innerhalb weniger Augenblicke drastisch – wäre in diesem Fall also nicht zeitlich konstant.

### 3.3 Das Stufenmodell der Diagnose

Fröhlich, Nejdil und Schroeder beschreiben in [FNS94] Strategien zum Umgang mit sich dynamisch verändernden Modellen des zu diagnostizierenden Systems. Diese Modelle begründen sie folgendermaßen: Bei der modellbasierten Diagnose steigt der Aufwand der Berechnung einer Diagnose abhängig von der Komplexität des eingesetzten Modells an. Um diese Komplexität zu verringern, ist es vorteilhaft, in Diagnosemodelle Hierarchien einzuführen. Die verschiedenen Hierarchiestufen kann man auch als verschiedene Stufen der Abstraktion auffassen. Dabei beginnt der Diagnoseprozeß auf der Stufe der höchsten Abstraktion, und sobald eine Komponente als fehlerhaft ermittelt wurde, wird deren verfeinertes Modell in das Gesamtmodell eingefügt. Wir haben in dieser Arbeit eine andere Motivation der Einführung eines gestaffelten Modells, jedoch ist das Modell das gleiche.

Die Einführung von Modellen, die eine stufenweise Verfeinerung des Diagnoseprozesses gestatten, ist neben Gründen der Einsparung von Rechenleistung auch aus anderen Gründen angebracht: Da die Möglichkeiten eines Arztes, Krankheiten zu therapieren, begrenzt sind, braucht er auch kein Expertensystem, das ihm eine quasi unendlich feine Diagnose liefert. Ihm reicht es zu wissen, welche in seinen Möglichkeiten liegende Therapie er anwenden muß. Außerdem ist das medizinische Wissen derart komplex, daß die heutigen Methoden der Informatik kaum ausreichen würden, um dieses gesamte Wissen adäquat zu repräsentieren. Demzufolge scheinen spezielle Diagnosesysteme für ein kleines, klar abgegrenztes Gebiet vorteilhaft zu sein. Der wohl bekannteste Vertreter der speziellen Diagnosesysteme ist das Dombals System zur Differentialdiagnose von akuten Bauchschmerzen [dDLS<sup>+</sup>72], daß zwar weniger als 20 Krankheiten, dafür aber mit einer Genauigkeit von 91% korrekt diagnostiziert (dokumentiert bei ca. 600 Patienten).

In der Medizin würden die einzelnen Stufen (oder auch Ebenen; in Abbildung 1 die Zeilen rechteckiger Kästchen) den Möglichkeiten der Therapie des Diagnostizierenden (Kästchen mit abgerundeten Ecken) entsprechen. Eine Verfeinerung des Modells entspricht dann z.B. einer Überweisung zu einem Spezialisten. Das bedeutet, je spezieller die Ausbildung eines Arztes ist, desto weiter unten ist seine Diagnose in der Modellhierarchie anzusiedeln. Diese Hierarchie soll durch Abbildung 1 verdeutlicht werden. Dabei sind die Stufen nicht etwa nur durch den Wissensstand des jeweiligen Arztes festgelegt, sondern auch durch seine begrenzten Möglichkeiten der Behandlung.

Das heißt, selbst wenn beispielsweise ein Facharzt für Allgemeinmedizin eine wesentlich genauere Diagnose stellen könnte (z.B. Aminoacidopathie), wäre es ihm nicht möglich festzulegen, welche Therapie die günstigste ist. Aus diesem und den vorangehenden Beispielen scheint es sinnvoll, den Begriff der therapeutischen Vollständigkeit einer Wissensbasis einzuführen. Damit soll jene Eigenschaft beschrieben werden, die es (in Analogie zur diagnostischen Vollständigkeit, vgl. [Her93]) ermöglicht, durch die Hinzufügung einer maximalen Menge von Beobachtungen zu einer Wissensbasis eine Therapie festzulegen. Dabei bezeichnen wir mit Therapie die Handlung auf jeder Stufe des hierarchischen Modells, die der Arzt nach seinem Diagnoseprozeß festlegt - das kann die Anwendung von Medikamenten, Massagen, Reizstrombehandlungen, Operationen sowie auch die Überweisung zu einem Spezialisten sein.

Bevor wir die therapeutische Vollständigkeit einer Wissensbasis definieren können, ist es nötig zu klären, wann Krankheiten als therapeutisch äquivalent bezeichnet werden können.

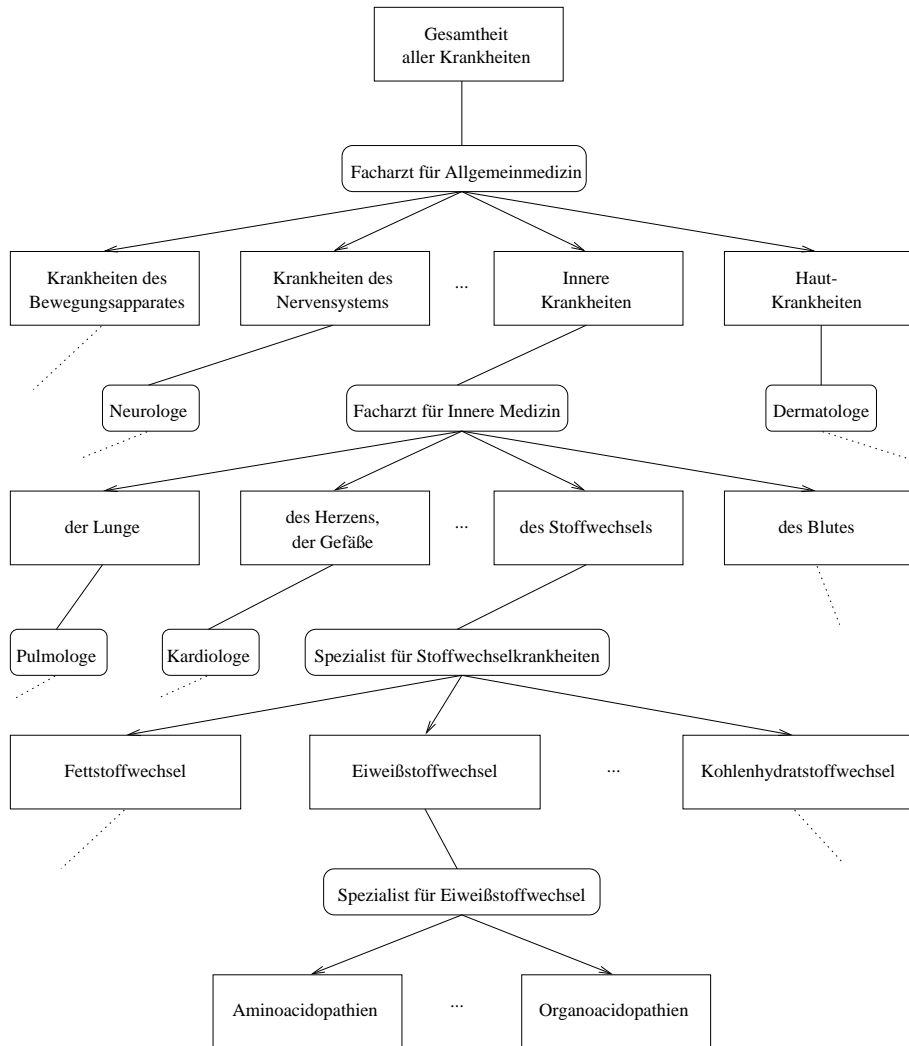


Abbildung 1: Stufen der Diagnose

### 3.4 Therapeutische Äquivalenz von Krankheiten

**Definition: (therapeutisch äquivalente Krankheiten)** Sei  $D$  eine endliche Menge betrachteter Krankheiten (diseases) und  $d, d' \in D$  zwei Krankheiten. Sei weiterhin  $t$  ein Element aus einer endlichen Menge zur Verfügung stehender Therapien  $T$ . Außerdem beschreibe die binäre Relation  $appl(t, d)$  wieder, ob  $t$  eine auf die Krankheit  $d$  erfolgversprechend anwendbare Therapie ist.  $d$  und  $d'$  sind genau dann therapeutisch äquivalent ( $d \equiv d'$ ), wenn die gleiche Menge von Therapien erfolgreich anwendbar ist.

$$(d \equiv d') \iff (\forall t \in T : appl(t, d) \iff appl(t, d'))$$

Da die Relation der therapeutischen Äquivalenz transitiv, reflexiv und symmetrisch ist, definiert sie die Äquivalenzklassen  $K_1$  bis  $K_m$ , die Gruppen von Krankheiten mit identischen Therapiemengen enthalten. Eine solche Therapiemenge kann verschiedene Therapien enthalten, die von verschiedenen Medizinerinnen auch verschieden



angewendet werden. Die Therapiemenge kann auch einelementig oder aber leer sein (falls keine Therapie existiert).

### 3.5 Abstrakte Diagnose und therapeutische Vollständigkeit

Um der Rolle der Therapie in unserem Ansatz gerecht zu werden, verwenden wir nun den Begriff des *therapeutischen Frames*. Nun kommen wir wieder zu unserem Begriff der stufenweisen Diagnose zurück und legen für jede Abstraktionsebene verschiedene therapeutische Frames  $(W_j^i, D_j^i, OBS_j^i, T_j^i, appl_j^i)$  fest – jeweils ein Frame für jedes rechteckige Kästchen aus Abbildung 1. Die Indizes  $i$  und  $j$  dienen zur eindeutigen Benennung der Frames. Der obere Index  $i$  kennzeichnet die Stufe (Ebene) in der der Frame liegt und  $j$  dient zur eindeutigen Kennzeichnung innerhalb einer Stufe. Da die Mitführung der beiden Indizes die Lesbarkeit nicht gerade erhöht, werden wir an den Stellen auf sie verzichten, an denen sie nicht unbedingt notwendig sind.

Es gibt nun für jede therapeutische Äquivalenzklasse<sup>2</sup> mindestens einen therapeutischen Frame  $(W_k^{n-1}, D_k^{n-1}, OBS_k^{n-1}, T_k^{n-1}, appl_k^{n-1})$  auf der darunter liegenden Ebene, welcher im Sinne von Abschnitt 3.3 eine Verfeinerung darstellt. Das scheint insofern sinnvoll, als sich das gleiche medizinische Problem für zwei Ärzte unterschiedlicher Spezialisierungstiefe oft als einander nicht zu vergleichende Aufgaben darstellt.

In unserer Begriffsbildung bezeichnet eine *kausale Diagnose* die wirkliche Ursache einer Krankheit, für die keine weitere (genauere) Ursache ermittelt werden kann. Für die entsprechenden therapeutischen Äquivalenzklassen gibt es also keine weitere Verfeinerung. Für Abbildung 1 heißt das, es gibt keinen weiteren Spezialisten, der eine feinere Diagnose stellen könnte und auch keine weiteren Therapiemöglichkeiten zur Verfügung hätte. Kausale Diagnosen und ihre zugehörigen Therapiemöglichkeiten bilden sozusagen die Blätter des Baumes in Abbildung 1.

Im Gegensatz zur kausalen Diagnose soll nun unter Zuhilfenahme der beschriebenen therapeutischen Äquivalenzklassen der Begriff der *abstrakten Diagnose* eingeführt werden, den wir in Anlehnung an die Diagnosedefinition von Herre ([Her93], Definition 1) definieren wollen.

**Definition: (abstrakte Diagnose)** Gegeben sei ein therapeutischer Frame  $\mathcal{TF} = (W, D, OBS, T, appl)$  und eine Wissensbasis  $KB$ , die für  $W$  korrekt ist. Sei  $X \subseteq OBS$  eine Menge von Beobachtungen. Eine abstrakte Diagnose für  $(KB, X)$  wird bestimmt durch eine maximale konsistente Extension  $E$  von  $KB \cup X$ . Die abstrakte Diagnose für  $E$  wird definiert durch die Menge  $d_{abs} = E \cap T$ .

Die durch diese Definition festgelegte abstrakte Diagnose kann eine oder mehrere therapeutische Äquivalenzklassen enthalten. Den Begriff der abstrakten Diagnose finden wir gerechtfertigt, da er von mehreren Krankheiten abstrahiert. Oder um mit Reiter [Rei87] zu sprechen: eine abstrakte Diagnose ist eine fehlerhafte Komponente, die sich in mehrere Subkomponenten unterteilen läßt. Das Konzept der abstrakten Diagnose ähnelt auf den ersten Blick der von Lucas [Luc96] definierten Kategorie. Aber Lucas nutzt als Ähnlichkeitsmerkmal die Menge der Symptome, während wir unsere Äquivalenzklasse auf Mengen von Therapien begründen. Wir bezeichnen also als abstrakte Diagnose eine Menge von therapeutischen Äquivalenzklassen, wobei sich für jede dieser Äquivalenzklassen ein feineres Modell mit einem weniger abstrakten therapeutischen Frame finden läßt.

Kommen wir nun zur Formalisierung des Merkmals der therapeutischen Vollständigkeit.

---

<sup>2</sup>außer die, der untersten Ebene

**Definition: (Therapeutische Vollständigkeit)** Gegeben sei ein therapeutischer Frame  $\mathcal{TF} = (W, D, OBS, T, appl)$ . Eine Wissensbasis  $KB$  für  $\mathcal{TF}$  heißt *therapeutisch vollständig*, wenn sich bei einer maximalen Menge von Beobachtungen  $X$  (mit  $X \subseteq OBS$  und  $KB \cup X$  ist konsistent) für  $(KB, X)$  eine eindeutige abstrakte Diagnose festlegen läßt.

Mit einer therapeutisch vollständigen Wissensbasis läßt sich also in jedem Falle eine eindeutige abstrakte Diagnose ermitteln. Außerdem hat man sofort eine oder auch mehrere Therapiemöglichkeiten parat, je nach der Beschaffenheit der therapeutischen Äquivalenzklassen.

## 4 Ergebnisse, Ausblick

Gerade in der Medizin erscheint die Berücksichtigung von Therapiemöglichkeiten im Diagnoseprozeß auch im Hinblick auf therapeutisch vollständige Wissensbasen sinnvoll und für Mediziner sowie Patienten nutzbringend. Um seine wirkliche Leistungsfähigkeit und Praxistauglichkeit aufzeigen zu können, muß der Ansatz jedoch noch weiter untersucht und verfeinert werden.

Diente der Begriff der diagnostischen Vollständigkeit aus [Her93] zur Entscheidung, ob ein wissensbasiertes System bei Eingabe einer maximalen Menge von Symptomen immer eine eindeutige Diagnose stellen kann, so hat man in der therapeutischen Vollständigkeit ein Kriterium, um das Finden von Therapiemöglichkeiten zu garantieren. Für eine therapeutisch vollständige Wissensbasis ist es allerdings Voraussetzung, daß zu jeder Diagnose (Krankheit) auch eine Therapiemöglichkeit bekannt ist. Sonst wäre zwar die Wissensbasis diagnostisch aber nicht therapeutisch vollständig. Deshalb läßt sich dieses Konzept leider nicht auf jedem medizinischen Gebiet sinnvoll verwenden.

Das Stufenmodell im Diagnoseprozeß ist zwar bekannt, jedoch die explizite Berücksichtigung der Therapiemöglichkeiten eines Arztes im Diagnoseprozeß ist neu. Es wird sicher nicht die Regel sein, daß der Diagnoseprozeß bei der ersten gefundenen Therapiemöglichkeit abgebrochen werden kann, obwohl es auch solche Fälle in der Praxis gibt. Aber in vielen Fällen läßt sich eine wirksame Therapie einleiten, noch bevor die *genaue* Krankheitsursache feststeht. Die bereits eingeleitete Therapie läßt sich dann gegebenenfalls durch eine speziellere Therapie ersetzen. Der durch eine eher begonnene Therapie erwirtschaftete Zeitgewinn kommt dann auf jeden Fall der Gesundung des Patienten zugute.

## Literatur

- [CT91] Luca Console and Pietro Torasso. A spectrum of logical definitions of model-based diagnosis. *Computational Intelligence*, 7(3):133–141, 1991.
- [dDLS<sup>+</sup>72] F.T. de Dombal, D.J. Leaper, John R. Staniland, A.P. McCann, and J.C. Horrocks. Computer-aided diagnosis of acute abdominal pain. *British Medical Journal*, 2:9–13, 1972.
- [FNS94] Peter Fröhlich, Wolfgang Nejd, and Michael Schroeder. A formal semantics for preferences and strategies in model-based diagnosis. In *Working Papers of the 5th International Workshop on Principles of Diagnosis (DX'94)*, pages 106–113, New Paltz, NY, October 1994.

- [Gam96] Johann Gamper. *A temporal reasoning and abstraction framework for model-based diagnosis systems*. PhD thesis, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH Aachen), Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Aachen, Germany, July 1996.
- [GS96] Johann Gamper and Friedrich Steimann. Medizinische Expertensysteme - Eine kritische Betrachtung. *APIS - Zeitschrift für Politik, Ethik, Wissenschaft und Kultur im Gesundheitswesen*, 1996.
- [Her93] Heinrich Herre. Semantical completeness of model-based diagnosis. In *Proceedings of the 2nd European Symposium on the Validation and Verification of Knowledge Based Systems (EUROVAV'93)*, Palma de Mallorca, Spain, 1993.
- [Luc96] Petrus Johannes Franciscus Lucas. *Structures in Diagnosis*. Thesis. Free University of Amsterdam, 1996.
- [Meh91] Franz N. Mehling. *Knaurs Lexikon A-Z*. Droemer Knaur, 1991.
- [Rei87] Raymond Reiter. A theory of diagnosis from first principles. *Artificial Intelligence*, 32:57 – 95, 1987.