

Ein einfaches Modell zur medizinischen Diagnostik mit fuzzy Teilmengen

Klaus-Peter Adlaßnig

Zusammenfassung

In der medizinischen Diagnostik können kaum exakte Beziehungen zwischen Symptomen und Krankheiten wie »beweisend«, »ausschließend« oder »obligat« angegeben werden. Häufig finden sich Begriffe wie »oft«, »selten«, »90–100%«, usw. Diese Begriffe werden als Namen von fuzzy Teilmengen, für die geeignete Zugehörigkeitsfunktionen definiert wurden, aufgefaßt. Aus den Relationen $S_i D_j$ -Vorhandensein und $S_i D_j$ -Beweiskraft eines Symptoms S_i für eine Krankheit D_j lassen sich $S_i D_j$ -Einzelhinweise ableiten. Beispiele für fuzzy Teilmengen, die zur Beschreibung von $S_i D_j$ -Vorhandensein und $S_i D_j$ -Beweiskraft verwendet werden, sind oft und selten. Zur Darstellung der $S_i D_j$ -Einzelhinweise sind fuzzy Teilmengen wie hoch und niedrig geeignet. Gesamthinweise vom Symptomenmuster S des Patienten zu einer Krankheit D_j erhält man durch Zusammenfassung der $S_i D_j$ -Einzelhinweise.

Das Modell ist ein theoretischer Ansatzpunkt zur computerunterstützten medizinischen Diagnostik mit fuzzy Teilmengen.

Summary

Relationships between symptoms and diseases like »proving«, »excluding« and »obligatory« can seldom be found in the field of medical diagnosis. Terms like »usually«, »rarely«, »90–100%« etc. are often used in descriptions of diseases. In this article these terms are interpreted as labels of fuzzy subsets. Every fuzzy subset is defined by a membership function. Single $S_i D_j$ -indications can be deduced from the $S_i D_j$ -presence and the $S_i D_j$ -conclusiveness relationships of a symptom S_i in a disease D_j . Examples for fuzzy subsets used to determine single $S_i D_j$ -indications are strong and weak. The fuzzy subsets often, seldom, etc. are used to establish $S_i D_j$ -presence and $S_i D_j$ -conclusiveness relationships. Finally one obtains total indications of the patient's symptom pattern S to disease D_j by consolidating the single $S_i D_j$ -indications. The model is a theoretical starting point for computer-assisted medical diagnosis using fuzzy subsets.

1. Einleitung

Der hohe Grad an Präzision, der in Wissenschaftsgebieten wie Mathematik, Physik, Chemie und Ingenieurwesen vorherrscht, steht in scharfem Kontrast zur Ungenauigkeit, die bei Beschreibungen aus der Soziologie, Psychologie, Medizin, Linguistik, Literatur, Kunst, Philosophie u. a. zu finden ist. Obwohl zur

Analyse von Objekten, Systemen oder Strukturen der zuletzt genannten Wissenschaften die konventionellen mathematischen Techniken auch weiterhin sinnvoll eingesetzt werden können, erscheint ein Konzept, das die große Komplexität und Ungenauigkeit der Definitionen in diesen Gebieten berücksichtigt, als notwendig.

L. A. ZADEHS Theorie der fuzzy Teilmengen (siehe [6], [9] und [18]), beinhaltet als einen der wesentlichen Unterschiede zu den Methoden der konventionellen Mathematik die Verwendung von linguistischen Werten anstelle von Zahlen. Weiß man z. B. die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses nicht genau, so kann man sagen ziemlich wahrscheinlich, nicht sehr wahrscheinlich, äußerst wahrscheinlich, oder die Frage nach dem Alter kann beantwortet werden mit alt, sehr alt, sehr sehr sehr alt, mehr oder weniger jung usw. Der Grundgedanke des linguistischen Wertes besteht darin, daß die Verwendung eines meßbaren Zahlenbereiches und einer dazugehörigen Maßeinheit abgelöst wird durch die Verwendung der fuzzy Teilmengen (z. B. jung, wahrscheinlich). Mit Hilfe der linguistischen Werte kann die Definition von Objekten, Systemen oder Strukturen, die zu komplex oder zu ungenau sind und die sich dadurch einer exakten Beschreibung entziehen, näherungsweise erfolgen.

In den medizinischen Wissenschaften ist es selten möglich mit präzisen Definitionen, Beschreibungen oder Aussagen zu arbeiten.

In der medizinischen Diagnostik gibt es meist keine scharfen Grenzen zwischen den einzelnen Krankheiten, das Auftreten mehrerer Krankheiten bei einem Patienten verwischt das Symptomenbild und erschwert die diagnostische und therapeutische Entscheidung, die Einordnung erhobener Befunde in normal oder pathologisch ist in Grenzfällen oft willkürlich, die Beschreibung der Intensität eines Schmerzes kann nur verbal erfolgen und ist somit von der subjektiven Einschätzung des Patienten abhängig und in Krankheitsbeschreibungen können äußerst selten genaue Zuordnungen zwischen Symptomen und Krankheiten getroffen werden.

So finden sich in [14] (S. 676 ff) folgende Aussagen bei der Beschreibung der akuten Pankreatitis:

- »... Alkoholabusus fanden C... in 70% und K... und H... in jeweils 40% der Fälle.«
- »Häufige anamnestische Angaben beziehen sich auf Ulcus ventriculi und duodeni, Duodenaldivertikel...«
- »Typischerweise beginnt die ... mit plötzlich auftretendem Oberbauchschmerz..., der crescendoartig anschwellen kann...«

- »Die Intensität des Schmerzes, der **nicht obligat** ist, kann erheblich variieren«.
- »**Fast immer** geht die ... einher mit Übelkeit, Aufstoßen, Völlegefühl, ...«
- »**Selten** entwickelt sich ein Pericarderguß ...«
- »Sehr hohe Amylaseaktivitäten (etwa das 5fache der Norm) sind jedoch **fast beweisend** ...«
- »Von ... wurden ..., die Duodenalatonie, die Lufthaube im Bulbus, ... als **besonders wertvolles** diagnostisches Zeichen hervorgehoben.«

Aus diesen wenigen Beispielen (in [11], [12] und [13] sind ähnliche Beschreibungen) kann ersehen werden, daß die Begriffe wie »häufig«, »typischerweise«, »nicht obligat«, »90-100%«, »fast immer«, »selten«, »fast beweisend« u. a. nicht exakt, sondern »fuzzy« sind.

Exakte Beziehungen zwischen Symptomen und Diagnosen wie »obligat«, »beweisend«, »ausschließend« u. a. treten zwar auf und sollten dann, wenn sie auftreten, auch genutzt werden. Sie sind aber eher selten (siehe [2], [3], [4], [5], [7], [8], [10] und [15]).

Aufbauend auf diese Überlegungen wird im folgenden Abschnitt ein computerunterstütztes Diagnosemodell vorgestellt, das in der Lage sein soll, medizinische Aussagen wie

- S_i ist **oft** vorhanden und **selten** beweisend bei D_j
 - S_i ist **fast immer** vorhanden und **immer** beweisend bei D_j
- zu verarbeiten und bei einem gegebenen Symptomenmuster eines Patienten eine logische Beziehung zwischen dem Symptomenmuster und den Krankheiten aufzubauen.

2. Computerunterstützte Diagnose

2.1. Ziel

Folgende Ziele werden gestellt:

- Speicherung von medizinischem Wissen in Form von logischen Beziehungen zwischen Symptomen und Krankheiten, Symptomen und Symptomen sowie zwischen Krankheiten und Krankheiten.
- Die logischen Beziehungen können »fuzzy« sein. Sie müssen nicht der zweiwertigen Booleschen (siehe [2], [10], [15]) oder dreiwertigen Kleeneschen (siehe [3]) Logik entsprechen.
- Eine Palette von Diagnosen, auch seltene, wird bei Vorliegen eines Symptomenmusters angeboten.
- Der Diagnoseprozeß kann iterativ erfolgen.
- Es werden Begründungen für die Diagnoseentscheidungen gegeben.

2.2. Medizinische Vorarbeiten

2.2.1. Symptom-Krankheits-Beziehungen

Zwei Aspekte des Symptoms sind bei der Ermittlung seiner Beziehung zu einer Krankheit von wesentlicher Bedeutung:

1. Vorhandensein von S_i bei D_j
 2. Beweiskraft von S_i für D_j
- mit $i = 1, \dots, M, j = 1, \dots, N$, wobei M die Anzahl der Symptome und N der Krankheiten ist.

Die Variablen X_1 ($S_i D_j$ -Vorhandensein) und X_2 ($S_i D_j$ -Beweiskraft) nehmen konkrete Werte aus den Grundgesamtheiten U_1 bzw. U_2 an.

Zur anschaulichen Verdeutlichung sei $U_1 = [0,100]$, wobei 0 als nullmal und 100 als 100mal Vorhandensein von S_i bei D_j zu betrachten ist. Analog dazu ist $U_2 = [0,100]$, wobei 0 als nullmal und 100 als 100mal Beweiskraft von S_i für D_j gewertet wird.

Aus den Grundgesamtheiten U_1 und U_2 werden Untermengen mit sich überlappenden Grenzen gebildet. Man erhält fuzzy Teilmengen von U_1 und U_2 . So bildet die fuzzy Teilmenge **oft** von U_1 eine fuzzy Restriktion auf die Werte von X_1 .

Für das $S_i D_j$ -Vorhandensein wird definiert (siehe A3):

$$T(X_1) = \{\text{immer, fast immer, sehr sehr oft, sehr oft, ziemlich oft, oft, mehr oder weniger oft, unbekannt, mehr oder weniger selten, selten, ziemlich selten, sehr selten, sehr sehr selten, fast nie, nie}\} \quad (1)$$

und für die $S_i D_j$ -Beweiskraft

$$T(X_2) = \{\text{immer, fast immer, sehr sehr oft, sehr oft, ziemlich oft, oft, mehr oder weniger oft, unbekannt, mehr oder weniger selten, selten, ziemlich selten, sehr selten, sehr sehr selten, fast nie, nie}\}. \quad (2)$$

Die Elemente von $T(X_i)$ sind zum Teil primäre Elemente (**immer, oft, unbekannt, selten, nie**), zum Teil sind sie durch Anwendung linguistischer Modifizierer (**sehr, mehr oder weniger, fast, ziemlich**) entstanden. Der linguistische Modifizierer **nicht** könnte die Elementemengen von X_i noch wesentlich erweitern. Es sei an dieser Stelle erwähnt, daß **immer** und **nie** an sich non-fuzzy Begriffe sind. Doch sollen, analog dem Sprachgebrauch, Ausnahmen vom Regelfall möglich sein. **Immer** heißt also nicht unbedingt »in 100 von 100 Fällen«, sondern auch noch in »99 oder 98 von 100 Fällen«.

Für jede fuzzy Teilmenge F_i ist eine Zugehörigkeitsfunktion $\mu_F : U \rightarrow [0,1]$ definiert. Die Definition der μ_F erfolgt unter Nutzung standardisierter Funktionen wie in (A1) und (A2) angegeben. So sei

$$\mu_{\text{immer}}(u) = S(u;98,99,100), \quad (3)$$

$$\mu_{\text{oft}}(u) = S(u;40,60,80), \quad (4)$$

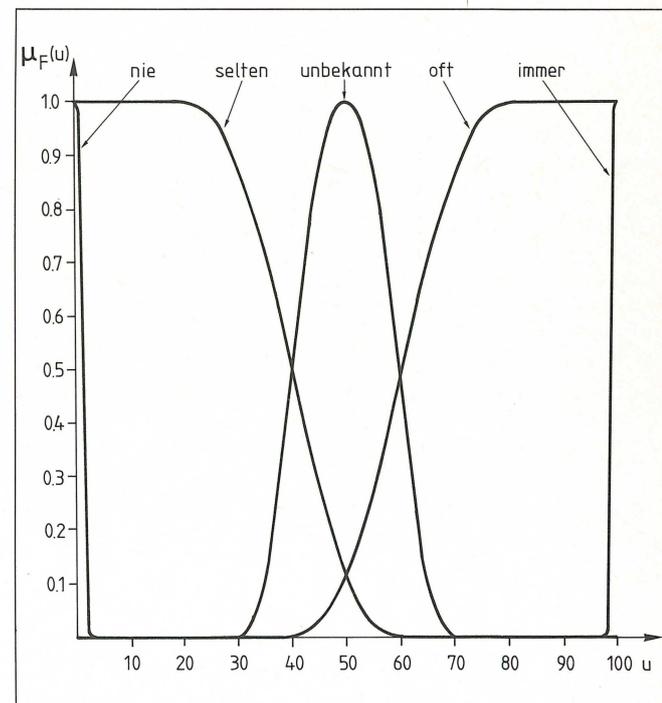
$$\mu_{\text{unbekannt}}(u) = \Pi(u;20,50), \quad (5)$$

$$\mu_{\text{selten}}(u) = 1 - S(u;20,40,60), \quad (6)$$

$$\mu_{\text{nie}}(u) = 1 - S(u;0,1,2). \quad (7)$$

(siehe Abb. 1).

Abb. 1. Zugehörigkeitsfunktion von **immer, oft, unbekannt, selten, nie**.



Die fuzzy Teilmengen von U_1 bzw. U_2 sind für die Definitionen (3)–(7) somit

immer = $\int_{[0,100]} S(u;98,99,100)/u$ (8)
oft = $\int_{[0,100]} S(u;40,60,80)/u$ (9)
unbekannt = $\int_{[0,100]} \Pi(u;20,50)/u$ (10)
selten = $\int_{[0,100]} \{1 - S(u;20,40,60)\}/u$ (11)
nie = $\int_{[0,100]} \{1 - S(u;0,1,2)\}/u$. (12)

Gibt man den Grad der Zugehörigkeit $\mu_F(u)$ in F für bestimmte u_i an, so kann man geeignet definieren

immer = $0,5/99 + 1/100$ (13)

oft = $0,125/50 + 0,5/60 + 0,875/70 + 1/80 + 1/90 + 1/100$ (14)

unbekannt = $0,125/35 + 0,5/40 + 0,875/45 + 1/50 + 0,875/55 + 0,5/60 + 0,125/65$ (15)

selten = $1/0 + 1/10 + 1/20 + 0,875/30 + 0,5/40 + 0,125/50$ (16)

nie = $1/0 + 0,5/1$. (17)

Die Ermittlung von S_iD_j -Vorhandensein und S_iD_j -Beweiskraft kann auf zwei Arten erfolgen:

- Durch Fragestellung an den Arzt.
Der Arzt gibt die Antwort aufgrund des medizinischen Wissens (Lehrbücher, Zeitschriften, eigene Erfahrung).
»Ist S_i bei D_j vorhanden?« Arzt: **sehr oft**
»Ist S_i bei D_j beweisend?« Arzt: **ziemlich selten**

»Ist S_{i+1} bei D_j vorhanden?« Arzt: **nie**

· · ·
· · ·
· · ·

»Ist S_{i+1} bei D_{j+1} vorhanden?« Arzt: **mehr oder weniger selten**

· · ·
· · ·
· · ·

2. Durch Auswertung einer medizinischen Datenbank¹⁾

Als Basis dienen hier die Häufigkeiten des Vorkommens von S_i bei D_j und D_j bei S_i .

Hat man die beiden Teilbeziehungen S_iD_j -Vorhandensein und S_iD_j -Beweiskraft ermittelt, so kann man daraus eine Beziehung zwischen Symptom und Krankheit (S_iD_j -Einzelhinweis) ableiten. Dieser Hinweis hängt aber davon ab, ob das Symptom S_i im konkreten Fall beim Patienten als vorhanden oder nicht vorhanden beobachtet wurde. Der $^+S_iD_j$ -Einzelhinweis (S_iD_j -Einzelhinweis bei vorhandenem Symptom S_i) und der $^-S_iD_j$ -Einzelhinweis (S_iD_j -Einzelhinweis bei nicht vorhandenem Symptom S_i) lassen sich tabellarisch in geeigneter Form definieren (siehe Tabelle 1), wobei nur die primären Elemente zu definieren sind. Durch Interpolation kann ein S_iD_j -Einzelhinweis auch dann gefolgert werden, wenn keine Eintragung für die konkreten S_iD_j -Vorhandensein- und -Beweiskraft-Werte vorhanden ist (siehe [18]).

Die Elementemengen der Variablen X_3 ($^+S_iD_j$ -Einzelhinweis) und X_4 ($^-S_iD_j$ -Einzelhinweis) sind wie folgt definiert:

$T(X_3) = T(X_4) = \{$ **total hoch, sehr sehr sehr hoch, sehr sehr hoch, sehr hoch, ziemlich hoch, hoch, mehr oder weniger hoch, unbekannt, mehr oder weniger niedrig, niedrig, ziemlich niedrig, sehr niedrig, sehr sehr niedrig, sehr sehr sehr niedrig, total niedrig** $\}$ (18)

¹⁾ Das Problem der Multimorbidität der Patienten der internen Medizin steht einer automatischen Berechnung, die nicht vom Arzt bewertet wird, im Weg.

Tabelle 1. Definition der S_iD_j -Einzelhinweise

S_iD_j -Vorhandensein	S_iD_j -Beweiskraft	$^+S_iD_j$ -Einzelhinweis	$^-S_iD_j$ -Einzelhinweis
immer	immer	total hoch	total niedrig
immer	oft	sehr sehr hoch	total niedrig
immer	unbekannt	sehr hoch	total niedrig
immer	selten	sehr hoch	total niedrig
immer	nie	hoch	total niedrig
oft	immer	total hoch	unbekannt
oft	oft	sehr hoch	unbekannt
oft	unbekannt	hoch	unbekannt
oft	selten	hoch	unbekannt
oft	nie	hoch	unbekannt
unbekannt	immer	total hoch	unbekannt
unbekannt	oft	sehr hoch	unbekannt
unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt
unbekannt	selten	niedrig	unbekannt
unbekannt	nie	niedrig	unbekannt
selten	immer	total hoch	niedrig
selten	oft	sehr hoch	niedrig
selten	unbekannt	niedrig	niedrig
selten	selten	niedrig	niedrig
selten	nie	niedrig	niedrig
nie	immer	*	*
nie	oft	*	*
nie	unbekannt	*	*
nie	selten	*	*
nie	nie	total niedrig	unbekannt

* Kombination nicht zulässig

2.2.2. Symptom-Symptom- und Krankheit-Krankheits-Beziehungen

Als S_iS_j - und D_iD_j -Beziehungen kommen nur solche in Frage, die eine starke Aussagefähigkeit besitzen, um das System vor Unübersichtlichkeit zu schützen. Eine starke Aussage ergibt sich dort, wo S_iS_j - bzw. D_iD_j -Vorhandensein oder S_iS_j - bzw. D_iD_j -Beweiskraft **immer** oder **nie** sind.

2.3. Ablauf der computerunterstützten Diagnose

- Nach der Identifikation des Patienten werden alle Symptome (anamnestische Angaben, allgemeiner und physikalischer Status, Laborbefunde usw.) eingegeben oder einer medizinischen Datenbank entnommen. Ein Symptom kann »vorhanden«, »nicht vorhanden« oder »nicht erhoben« sein.
- Das Symptomenmuster wird durch die Symptom-Symptom-Beziehungen erweitert.
- Die vorhandenen und nicht vorhandenen Symptome dienen nun der Ermittlung der $^+S_iD_j$ - und $^-S_iD_j$ -Einzelhinweise. Die S_iD_j -Einzelhinweise werden zusammengefaßt und ergeben einen Hinweis des Symptomenmusters S auf die Diagnose (SD_j -Gesamthinweis). Es wird aber hierbei zwischen dem maximalen SD_j -Gesamthinweis (SD_j -Max) und dem minimalen SD_j -Gesamthinweis (SD_j -Min) unterschieden.

Die Elementemengen von X_5 (SD_j -Max) und X_6 (SD_j -Min) sind die gleichen wie in (18).

Es sei weiters eine Ordnung
total hoch > sehr sehr sehr hoch > ...
... sehr sehr sehr niedrig > total niedrig (19)
 definiert.

Es sei nun
 $F_{SD_j\text{-Max}} = \text{MAX}\{F_{S_iD_j}\}$ (20)

und

$$F_{SD_j, \text{Min}} = \text{MIN}\{F_{S_i, D_j}\}, \quad (21)$$

mit $i = 1, \dots, K$, wobei K die Anzahl der vorhandenen und nicht vorhandenen Symptome ist.

Zum Beispiel erhält man

$$\text{total hoch} = \text{MAX}\{\text{niedrig, sehr hoch, total hoch}\}$$

und

$$\text{niedrig} = \text{MIN}\{\text{niedrig, sehr hoch, total hoch}\}$$

Für die Diagnose D_j ist der SD_j -Max bei den angegebenen Symptomen somit **total hoch** und SD_j -Min **niedrig**.

4. Es erfolgt die Ausgabe der Diagnosen mit einem SD_j -Max **total hoch**. Diese Diagnosen gelten als zutreffend.

5. Es erfolgt die Ausgabe der Diagnosen mit einem SD_j -Min **total niedrig**. Diese Diagnosen gelten als nicht zutreffend.

6. Alle verbleibenden Diagnosen, zu denen ein SD_j -Hinweis ermittelt wurde, werden mit ihrem SD_j -Max und SD_j -Min aufgelistet.

7. Als Begründungen werden die Symptome, aufgrund deren die ausgegebenen SD_j -Max und SD_j -Min ermittelt wurden, ausgegeben.

3. Diskussion

Das vorgestellte Modell stellt einen einfachen Ansatz zur computerunterstützten Diagnose mit fuzzy Teilmengen dar. Die Definition der fuzzy Teilmengen, die Ermittlung der $S_i D_j$ -Einzelhinweise über eine Zuordnungstabelle und die Ermittlung der SD_j -Gesamthinweise folgten einem sehr pragmatischen, aber durchaus sinnvollen Vorgehen. Das Hauptaugenmerk bei der Konzeption dieses Modells wurde darauf gelegt, Methoden der Theorie der fuzzy Teilmengen zu nutzen und dem Mediziner einen gedanklich nachvollziehbaren, der medizinischen Vorgehensweise entsprechenden computerunterstützten medizinischen Diagnoseprozeß vorzuschlagen.

Das Modell soll weiterhin im gesamten Bereich der Medizin, wo eine computerunterstützte medizinische Diagnostik zum retrospektiven Vergleich, zur aktuellen Unterstützung des diagnostizierenden Arztes oder im prospektiven Modus zur Auswahl von weiteren medizinischen Untersuchungen als sinnvoll erscheint, einsetzbar und nicht aus mathematisch-methodischen Gründen von vornherein limitiert sein.

Als weiterer Vorteil erweist sich, daß das Verfahren nicht versagt, wenn der Patient an mehreren Krankheiten leidet. Dieser Umstand ist besonders bemerkenswert, da die Multimorbidität in der internen Medizin ein alltägliches Problem ist.

Ausgehend von einer unveröffentlichten Fassung des vorliegenden Artikels hat TUSCH in [16] und [17] dieses Modell in leicht abgewandelter Form in der cranialen Computertomographie angewandt. Die Anwendung berücksichtigt 5 Tumordiagnosen: Malignome, Semimalignome, Metastasen, Fehlbildungstumore und Benignome. Es werden insgesamt 25 Symptome berücksichtigt, die sich aus 7 Symptomgruppen: Zahl der Herde, Herdstruktur (nativ), Ödeme, Lokalisation (Ödeme), Ventrikelform und -lage, Sulci und Zisternen, wobei jede einzelne Symptomgruppe unterschiedliche Ausprägungen aufweist, rekrutieren.

Die Symptome sind dichotom, wobei »Symptom vorhanden« und »Symptom nicht vorhanden/nicht untersucht« die beiden möglichen Werte darstellen.

TUSCH verwendet verschiedene Algorithmen zur Berechnung der SD_j -Gesamthinweise. Die Genauigkeit der Verfahren beim Vergleich mit den ärztlichen Diagnosen liegt zwischen 55 und 76%. Für diese Berechnungen standen Daten von 802 Tumorfällen zur Verfügung: 297 Malignome, 128 Semimaligno-

me, 194 Metastasen, 63 Fehlbildungstumore, 120 Benignome. Die entsprechenden Vorhandensein- und Beweiskraft-Fragebögen wurden von einem Arzt der Neuroradiologie ausgefüllt.

Ein weiterer theoretischer Ansatz zur computerunterstützten medizinischen Diagnostik unter Verwendung von fuzzy Teilmengen liegt in [1] vor. Dieser Ansatz ist aus dem hier vorgestellten Modell hervorgegangen. Es wurden aber andere Methoden bei der Berechnung von Symptom-Krankheits-Hinweisen angewandt und eine sehr formale Darstellung des computerunterstützten medizinischen Diagnoseprozesses gewählt.

Anhang:

Standardzugehörigkeitsfunktionen:

In vielen Fällen ist es zweckmäßig, die Zugehörigkeitsfunktion $\mu_F(u)$ einer fuzzy Teilmenge F mit Hilfe von Standardfunktionen auszudrücken. Die Parameter dieser Standardfunktionen können an die speziellen Anforderungen angepaßt werden. Zwei solcher Funktionen sind in [6] und [18] folgendermaßen definiert:

$$S(u; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & \text{für } u \leq \alpha \\ 2 \left(\frac{u - \alpha}{\gamma - \alpha} \right)^2 & \text{für } \alpha < u \leq \beta \\ 1 - 2 \left(\frac{u - \gamma}{\gamma - \alpha} \right)^2 & \text{für } \beta < u \leq \gamma \\ 1 & \text{für } u > \gamma \end{cases} \quad (A1)$$

$$\Pi(u; \beta, \gamma) = \begin{cases} S(u; \gamma - \beta, \gamma - \frac{\beta}{2}, \gamma) & \text{für } u \leq \gamma \\ 1 - S(u; \gamma, \gamma + \frac{\beta}{2}, \gamma + \beta) & \text{für } u > \gamma \end{cases} \quad (A2)$$

Der Parameter $\beta = \frac{\alpha + \gamma}{2}$ in $S(u; \alpha, \beta, \gamma)$ ist der Wendepunkt dieser Funktion. In $\Pi(u; \beta, \gamma)$ ist β die Bandbreite der Funktion und γ das Maximum.

Linguistische Variable:

Eine linguistische Variable LV (siehe [6]) ist eine nonfuzzy Variable, die gekennzeichnet ist durch ein Quintupel

$$LV = (X, T(X), U, G, M), \quad (A3)$$

wobei X der Name der Variablen, $T(X)$ die Elementmenge von X , d. h. eine Menge linguistischer Werte, U eine Grundgesamtheit, G eine syntaktische Regel, die die Elemente in $T(X)$ generiert, und M eine semantische Regel, die jedem Element X_i in $T(X)$ eine Bedeutung $M(X_i)$ zuordnet, ist. $M(X_i)$ ist eine fuzzy Teilmenge von U und legt die fuzzy Restriktionen der Werte der fuzzy Variablen X_i fest. Die fuzzy Restriktion, die jedem X_i zugeordnet ist, kann aus der fuzzy Restriktion, die dem primären Element in $T(X)$ zugeordnet ist, errechnet werden.

Die Elemente in $T(X)$ können mit einer kontextfreien Grammatik

$$G = (V_T, V_N, R, S) \quad (A4)$$

generiert werden, wobei die Terminalmenge V_T die primären Elemente, die linguistischen Modifizierer (z. B. **sehr**, **nicht**, **mehr oder weniger**) sowie »(« und »)«, die Nichtterminalmenge V_N alle nichtterminalen Elemente umfaßt, R die Regelmengen und S das Gipsförmige Symbol ist.

Jede Regelanwendung in G ist verbunden mit einer zweckmäßigen semantischen Regel. Ist $\mu_F(u)$ die Zugehörigkeits-

funktion von F , dann sind die Zugehörigkeitsfunktionen von **nicht F** , **sehr F** und **mehr oder weniger F**

$$\mu_{\text{nicht } F}(u) = 1 - \mu_F(u), \quad (\text{A5})$$

$$\mu_{\text{sehr } F}(u) = (\mu_F(u))^2 \quad (\text{A6})$$

und

$$\mu_{\text{mehr oder weniger } F}(u) = (\mu_F(u))^{1/2} \quad (\text{A7})$$

Auf diese Weise kann die Zugehörigkeitsfunktion für irgendein Element von $T(X)$ aufgrund der Kenntnis der Zugehörigkeitsfunktion des primären Elementes errechnet werden.

Literaturverzeichnis

- [1] ADLASSNIG, K.-P.: A Fuzzy Logical Model of Computer-Assisted Medical Diagnosis. *Meth. Inform. Med.* 3 (1980), 141–148.
- [2] ADLASSNIG, K.-P., Th. GERGELY, H. GRABNER, G. GRABNER: A Computer Assisted System for Diagnostic Decision Making – Online Usage of the Database of the Medical Information System WAMIS. In SHIRES, D. B., WOLF, H. (Eds.): *Medinfo 77*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam–New York–Oxford 1977, 213–218.
- [3] ADLASSNIG, K.-P., G. GRABNER: The Viennese Computer-Assisted Diagnostic System. Its Principles and Values. *Automedica* 3 (1980), 141–150.
- [4] BAUER, P., A. GANGL, G. GRABNER: Ein Computer-Verfahren zur Zuordnung eines Krankheitsbildes zu einer Diagnosegruppe. *Wiener Zeitschrift für Innere Medizin* 51 (1970), 497–509.
- [5] BAUER, P., A. GANGL, G. GRABNER, O. JAHN: Ein Computer-Verfahren zur Unterstützung des Arztes bei der Erstellung von Differentialdiagnosen. *Impuls* 10 (1968), 705–712.
- [6] BELLMANN, R. E., L. A. ZADEH: Local and Fuzzy Logics. *Electronics Research Laboratory, University of California, Berkeley* 1976.
- [7] DORAU, F., H. GRABNER, G. GRABNER: A Medical Information System as an Aid to Computer Assisted Diagnosis. *Medcomp 77*–Berlin. Online Conferences Limited, Uxbridge 1977, 659–666.
- [8] GANGL, A., G. GRABNER, P. BAUER: Erste Erfahrungen mit einem Computerprogramm zur Differentialdiagnose der Leberkrankheiten. *Wiener Zeitschrift für Innere Medizin* 50 (1969), 553–586.
- [9] KAUFMANN, A.: *Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets*, Volume 1. Academic Press, New York–San Francisco–London 1975.
- [10] LEDLEY, R. S.: *Use of Computers in Biology and Medicine*. McGraw Hill 1965.
- [11] OVERZIER, C.: *Systematik der Inneren Medizin – Daten, Fakten, Übersichten*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1975.
- [12] PSCHYREMBEL, W.: *Klinisches Wörterbuch mit klinischen Syndromen*. Walter de Gruyter, Berlin–New York 1972.
- [13] SCHALDACH, H. (Hrsg.): *Wörterbuch der Medizin*. VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin 1964.
- [14] SCHWIEGK, H. (Hrsg.): *Handbuch der Inneren Medizin*, 3. Band: Verdauungsorgane, Teil 6. Springer Verlag, Berlin–Heidelberg–New York 1976.
- [15] SPINDELBERGER, W., G. GRABNER: Ein Computerverfahren zur diagnostischen Hilfestellung. In FELLINGER (Hrsg.): *Computer in der Medizin – Probleme, Erfahrungen, Projekte*. Brüder Hollinek Wien 1968, 189–221.
- [16] TUSCH, G.: *Fuzzy Mengen und Anwendungen*. Diplomarbeit Universität Hannover, Januar 1980.
- [17] TUSCH, G.: Ein Fuzzy Algorithmus zur Diagnostischen Klassifizierung in der Cranialen Computer Tomographie (CCT). In BRAUER, W. (Hrsg.): *GI-11. Jahrestagung*. Springer Verlag Berlin–Heidelberg–New York 1981, 598–605.
- [18] ZADEH, L. A.: A Fuzzy-Algorithmic Approach to the Definition of Complex or Imprecise Concepts. In BOSSEL, H., KLACZKO, S., MÜLLER, N. (Eds.): *System Theory in the Social Sciences*. Birkhäuser Verlag, Basel und Stuttgart 1976, 202–282.

Eingegangen am 22. I. 1982

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Ing. Klaus-Peter Adlassnig, Institut für Medizinische Computertwissenschaften, Universität Wien, Garnisonsgasse 13, A-1090 Wien, Austria.