

Unterlagen zur Vorlesung

EINFÜHRUNG IN DIE MEDIZINISCHE INFORMATIK

Verfaßt von: H. Grabner
Erweitert und ergänzt von: E. Schuster
Version 1.0

TEIL 1

1. MEDIZINISCHE INFORMATIK (MI).....	2
1.1 ÜBERLAPPUNG MIT ANDEREN GEBIETEN	2
1.2 EDV IN DER MEDIZIN	3
1.3 INFORMATIK AN EINER MEDIZINISCHEN UNIVERSITÄT	3
1.3.1 <i>Forschung in Medizinischer Informatik</i>	4
1.3.1.1 Medizinische Informationssysteme	4
1.3.1.2 Medizinische Experten- und wissensbasierte Systeme.....	4
1.3.1.3 3D-Visualisierung und Picture Archiving and Communication Systems (PACS).....	5
1.3.1.4 Molekulare Bioinformatik	5
1.3.2 <i>Universitäre Lehre in Medizinischer Informatik</i>	6
1.3.3 <i>EDV-Schulung</i>	6
1.3.4 <i>EDV-Dienstleistungen für Forschung und Lehre</i>	7
1.3.5 <i>EDV-Krankenhausbetrieb zur Patientenversorgung</i>	7
2. GRUNDBEGRIFFE DER MEDIZINISCHEN INFORMATIK.....	8
2.1 NACHRICHT UND INFORMATION	8
2.2 SPRACHE UND CODIERUNG	10
2.3 MEDIZINISCHE BEGRIFFE, TERMINOLOGIE UND KLASSIFIKATIONSSYSTEME	11
2.3.1 <i>Klassifikationen in der Medizin</i>	12
3. KLASSISCHE LOGIK UND FUZZY LOGIK.....	14
3.1 KLASSISCHE ZWEI- UND DREIWERTE LOGIK	14
3.2 GRÜNDE FÜR DIE UNSCHÄRFE IN DER MEDIZIN	15
3.3 THEORIE DER FUZZY-LOGIK	17
3.3.1 <i>Mathematische Definitionen</i>	20
3.3.2 <i>Linguistische Variable</i>	23

1. MEDIZINISCHE INFORMATIK (MI)

Medizinische Informatik ist die Wissenschaft von der systematischen Verarbeitung medizinischer Informationen, insbesondere ihrer automatischen Verarbeitung mit Hilfe von Computern.

Medizinische Informatik

- untersucht die Prinzipien der Informationsverarbeitung in der Medizin
- verwendet - zumeist formale - Methoden und Werkzeuge der allgemeinen Informatik zur Modellierung von Struktur und Wirkungsweise von informationsverarbeitenden Systemen in der Medizin, mit dem Ziel, diese zu beschreiben, zu analysieren, zu bewerten und/oder zu konstruieren.

Die Medizinische Informatik ist dem Wesen nach interdisziplinär:

Ihre methodischen Grundlagen entnimmt sie dem Gebiet der allgemeinen Informatik; sie ist jedoch auf medizinische Probleme und Fragestellungen ausgerichtet, nicht auf allgemein-formale Methoden wie die Informatik selbst.

Bei der Medizinischen Informatik spielen Untersuchungen über

- die Einsatzmöglichkeit der Verfahren
- Sinn und Nutzen ihrer Anwendung in medizinischer Forschung, Lehre und - mit besonderer Betonung - bei der Patientenversorgung eine herausragende Rolle.

Die Medizinische Informatik hat eine "Algorithmisierung der Medizin" zum Inhalt.

Dabei sind jedoch Fragen der grundsätzlichen Algorithmisierbarkeit des menschlichen Denkens zu beachten.

Beispiele (für erfolgreiche Computerimplementierungen in der Medizin):

- medizinische Informationssysteme (KIS, RIS, LIS,....)
- wissensbasierte Diagnose- und Therapiesysteme
- bildgebende und bildverarbeitende Systeme
- biomedizinische Datenbanken

Solchen Systemen der medizinischen Informationsverarbeitung ist gemeinsam, daß sie sowohl administrative als auch medizinische Informationen über den jeweils zu behandelnden Patienten bzw. über ausgewählte Patientenkollektive zusammenführen. Die Ergebnisse dieser Zusammenführung dienen als administrative und medizinische Entscheidungsgrundlage, die alle medizinischen Abschnitte von

- Diagnose
 - Therapie
 - Prognose
 - bis hin zur Patientenführung
- umfassen kann.

Entscheidungsgrundlagen für das Gesundheitswesen werden in diesem Zusammenhang ebenfalls erarbeitet. Die jeweils zu treffende Entscheidung selbst obliegt jedoch den menschlichen Entscheidungsträgern.

1.1 Überlappung mit anderen Gebieten

Die in den Gebieten Biomathematik, Bio- oder Medizinische Statistik, Biometrie, Medizinische Kybernetik und Systemtheorie usw. entwickelten formalen Modelle und Lösungen werden grundsätzlich mit Methoden der allgemeinen Informatik in computergerechte Algorithmen umgesetzt. Dabei stehen jedoch die jeweiligen

gebietsspezifischen Lösungsmodelle für die allgemeine Informatik nicht im Mittelpunkt des Interesses. Die oben genannten Gebiete verfügen jedoch in weiten Bereichen über einen eigenen Methodenschatz, der dem jeweiligen allgemeinen zugrunde liegenden Gebiet der Mathematik, Statistik, Kybernetik und Systemtheorie usw. entnommen ist. Weiters verfolgen sie eigene Ziele, die sich wesentlich von denen der Medizinischen Informatik unterscheiden:

Die Medizinische Informatik befaßt sich mit der Konstruktion informationsverarbeitender Systeme im Sinne einer Ingenieurwissenschaft, so zielt die Tätigkeit in den anderen Gebieten vornehmlich auf Erkenntnisgewinn, weniger auf die Erstellung eines "arbeitenden" Systems ab.

Das Gebiet der Künstlichen Intelligenz wird manchmal als Teilgebiet der allgemeinen Informatik aufgefaßt; es reicht jedoch über die Informatik hinaus in die Gebiete Linguistik, Psychologie und Philosophie hinein. Analoges gilt dabei für das anwendungsorientierte Gebiet der Medizinischen Künstlichen Intelligenz.

Naturgemäß gibt es jedoch zahlreiche Schnittstellen zu den oben aufgeführten Fächern, zahlreiche Kooperationsmöglichkeiten und auch Überschneidungen.

1.2 EDV in der Medizin

EDV in der Medizin umschreibt die Programmierung und den Einsatz von entwickelten EDV-Methoden und realisierten Computersystemen in der Medizin. Diese Systeme sind entweder kommerziell erhältlich oder können entsprechend einer vorliegenden EDV-Spezifikation in Auftragsarbeit erstellt werden. Sie dienen direkt dem Betrieb der entsprechenden medizinischen Institution wie Krankenhaus, Laboratorium Arztpraxis usw.

Kommerziell geschaffene EDV-Systeme sind jedoch zumeist - aufgrund der hohen Komplexität der Arbeitsabläufe einer medizinischen Einrichtung - nicht ohne (oftmals äußerst aufwendige) Adaptation einsetzbar.

Überlappung Informatik \Leftrightarrow EDV (im allgemeinen und in der Medizin im besonderen):

- Forschung und Entwicklung
- Programm - Spezifikation
- Programm - Kodierung
- EDV - Betrieb und - Dienstleistungen

1.3 Informatik an einer Medizinischen Universität

Die vielfältigen Bedürfnisse der Kliniken und Institute einer Medizinischen Universität im Bereich der Medizinischen Informatik und EDV-Anwendung erstrecken sich auf folgende 4 Funktionsbereiche:

- Forschung in Medizinischer Informatik
- Lehre in Medizinischer Informatik sowie EDV-Schulung
- EDV-Dienstleistungen für Forschung und Lehre (Netze, BS, MS-Office, email,...)
- EDV-Krankenhausbetrieb zur Unterstützung bzw. Aufrechterhaltung der Patientenversorgung

Träger dieser (Dienst)Leistungen sind:

- Institute/Abteilung für Medizinische Informatik
- EDV-Zentrum der Universität
- EDV-Abteilung des Krankenhausbetreibers
- externe Software-Häuser und externe EDV-Ausbildungsstätten

1.3.1 Forschung in Medizinischer Informatik

Forschung in Medizinischer Informatik (in Form von interdisziplinärer Grundlagen- und Anwendungsforschung) kann zentral von einer Abteilung für Medizinische Informatik getragen werden. Obwohl die Forschung in Medizinischer Informatik an einer Medizinischen Universität größtenteils anwendungsorientiert ist, wird auch Grundlagenforschung selektiv im Rahmen von wissenschaftlichen Arbeiten (Dissertationen, Habilitationen,...) geleistet.

Teilweise hat es sich als günstig erwiesen, daß Kliniken und Institute vor Ort wissenschaftlich auf einem Teilbereich der Medizinischen Informatik tätig sind. Die zentrale Einrichtung für Medizinische Informatik sollte jedoch in diesen Fällen informierend und koordinierend wirken.

Aktuelle Forschungsaufgaben der Medizinischen Informatik:

1.3.1.1 Medizinische Informationssysteme

- Web- und wissensbasierte medizinische Dokumentations- und Informationssysteme als Weiterentwicklung der konventionellen Patientendokumentations- und -informationssysteme;
wissensbasierte Systeme dienen z.B.
 - dem aktiven Monitoring
 - der Teilinterpretation der eingegebenen medizinischen Daten der Patienten;
- Forschungs-Patientendatenbanken als Grundlage für retrospektive statistische, biometrische und epidemiologische Studien;
Entwicklung geeigneter Abfragesprachen, die die spezifischen medizinischen Anforderungen (z. B. Zeitrelationen) berücksichtigen;
- Automatische Verarbeitung medizinische Sprache zur Verbesserung der Mensch-Maschine-Kommunikation und zur automatischen Verschlüsselung medizinischer Texte wie Diagnosen, Therapien und Befundtexte;
- Entwicklung von technisch und inhaltlich geeigneten Standards im Bereich der Medizinischen Informatik und Telematik (EDVIKA, MAGDALENA,...);
diese Arbeiten führen zur Vereinheitlichung von Datenformaten und ermöglichen einheitliche EDV-Entwicklungen in der Medizin;
das CEN (European Standardisation Committee) gründete dafür 1990 das "Technical Committee for Medical Informatics".

Diese Arbeiten dienen

- administrativen Zwecken
- der Qualitätssicherung im medizinischen Bereich
- dem effizienten Retrieval von Patientenkollektiven für Forschungszwecke

1.3.1.2 Medizinische Experten- und wissensbasierte Systeme

- Intelligente Monitoringsysteme zur diagnostischen Früherkennung und Therapieüberwachung
- Automatische patientenspezifische Befundinterpretationssysteme in der Laboratoriumsmedizin, der Mikrobiologie, der Pathologie usw. zur automatischen Befundschreibung
- Klinische Konsultationssysteme sowie multimediale Diagnose- und Therapiestationen zur
 - Entscheidungsunterstützung beim Erstellen von Differentialdiagnosen
 - Optimierung der Therapieauswahl
 - individuellen Bewertung der Prognose

- ggf. Entscheidungsunterstützung bei der Patientenführung (Gesamtschau der Befunde, Ganzheitsdiagnose und -therapie, kostenoptimale Patientenbehandlung)
- Entwicklung von medizinisch geeigneten Standards zur Darstellung von medizinischem Wissen und zum Austausch medizinischer Wissensbasen
- Einsatz wissensbasierter Methoden im Bereich der molekularen Bioinformatik (z. B. Genomforschung, Biomolekül-Design und Wirkstoffentwicklung)

1.3.1.3 3D-Visualisierung und Picture Archiving and Communication Systems (PACS)

- Echtzeit-3D-Visualisierung medizinischer Schnittbilder zur
 - Erweiterung der diagnostischen und therapeutischen Möglichkeiten in vielen Bereichen der bildgebenden Medizin sowie in der Strahlentherapie;
 - Planung und Unterstützung chirurgischer Eingriffe im Bereich der Kiefer- und Gesichts-, der plastischen und allgemeinen Chirurgie, der Orthopädie, der Neurochirurgie usw.;ein wichtiger Teilbereich ist die stereolithographische Modellbildung auf der Basis tomographischer Schnittbilder;
- Aufbau anatomischer Wissensbasen (digitale Atlanten) und deren Integration in numerische und/oder symbolische Bildverarbeitungsalgorithmen;
- wissensbasierte adaptive Bildbefundungs- und -betrachtungsstationen zur patienten- und anforderungsspezifischen Aufbereitung des verfügbaren Bildmaterials; Zielgruppen sind alle bildbefundenden Abteilungen sowie Abteilungen der Chirurgie, Intensivmedizin usw.
- Computergraphische 3D-Darstellung von Biomolekülen zur Visualisierung von Struktur und Funktion

1.3.1.4 Molekulare Bioinformatik

- Entwicklung von neuen Methoden zur computergerechten Speicherung, Handhabung und Verarbeitung der in der Genomanalyse anfallenden Informationen; das betrifft insbesondere die Unterstützung
 - bei der Aufklärung der Funktion von Biomolekülen
 - bei der Aufklärung ihrer primären und topologischen Struktur
 - beim Design neuer Biomoleküle
 - bei der Abspeicherung von Molekülstrukturen in Datenbanken (das menschliche Genom hat eine geschätzte Sequenzlänge von 3,8 Milliarden Nukleotid-Einheiten);

Im einzelnen betrifft dies

- Integration heterogener biologischer Datenbanken
- Entwicklung von neuen Suchalgorithmen zur Modellierung biomolekularer Struktur- und Funktionseigenschaften
- Entwicklung von Methoden zur
 - Sequenzanalyse und Faltungsvorhersage von Proteinen
 - Visualisierung und graphische Manipulation von Biomolekülen
- Anwendung von parallelen Algorithmen auf Supercomputern

1.3.2 Universitäre Lehre in Medizinischer Informatik

2 Zielgruppen:

- Informatikstudenten, die sich auf medizinische Anwendungen spezialisieren
 - Medizinstudenten und ggf. Mediziner im Rahmen einer postgraduellen Ausbildung
- Diese unterscheiden sich wesentlich bezüglich der Ausbildungsanforderungen, d.h. bezüglich der Anlage und Tiefe des zu vermittelnden Ausbildungsstoffes, die Themenwahl selbst bleibt jedoch für beide Gruppen über weite Strecken gleich.

Die Kernbereiche der Ausbildung:

- Grundlagen der Medizinischen Informatik
- Medizinische Methodologie, Terminologie
- ausgewählte Kapitel der Medizin (Anatomie, Physiologie, Histologie, Pathologie)
- Informationsmanagement im Gesundheitswesen
- Medizinische Experten- und wissensbasierte Systeme
- Medizinische Biosignal-, Bildverarbeitung und 3D-Visualisierung
- Bioinformatik, Biosimulation und Biometrie

Der Träger der universitären Ausbildung in Medizinischer Informatik an der Medizinischen Universität ist grundsätzlich das Institut für Medizinische Informatik.

1.3.3 EDV-Schulung

Die **EDV-Schulung** richtet sich an alle im Wirkungsbereich einer Medizinischen Universität befindlichen EDV-Interessierten. Sie beinhaltet u.a. die folgenden Themen:

- Grundlagenwissen der EDV
- EDV-Anwendungssysteme
(Textverarbeitungsprogramme, Datenbanksysteme, Statistik-Pakete, Tabellenkalkulationsprogramme, Anwenderkommunikation via Electronic Mail und Internet)
- Internationale medizinische Datenbanken:
 - o Literatursuche (z. B. Medline)
 - o Retrieval klinisch relevanter Informationen (z. B. Physician Data Query (PDQ))
 - o Nutzung internationaler Forschungsdatenbanken mit 3D-Proteinstrukturen

Ausbildungsträger dafür können sein:

- das Institut für Medizinische Informatik
- das EDV-Zentrum der Universität (ZID)
- externe EDV-Ausbildungsstätten

1.3.4 EDV-Dienstleistungen für Forschung und Lehre

Die von den Kliniken und Instituten gewünschten EDV-Dienstleistungen für Forschung und Lehre umfassen:

- EDV-Hardware-Beratung (Hardware-Help-Desk) sowie Bestellung, Auslieferung und ggf. zentrale Reparaturabwicklung von Computersystemen, die dem Forschungs- und Lehrbetrieb zugeordnet sind
- EDV-Software- einschließlich EDV-Netz-Beratung (Software-Help-Desk) sowie Bestellung und Auslieferung von Software- und EDV-Netz-Programmen, die dem Forschungs- und Lehrbetrieb zugeordnet sind
- EDV-Projekt-Beratung beim Aufbau von individuellen Datenbeständen bis hin zur Beratung bei der Entwicklung von Spezialsoftware für Forschungs- und Lehraufgaben
- EDV-Betrieb von Softwaresystemen und -programmen, die der Unterstützung von Forschung und Lehre dienen
Betrieb einer EDV-Netz-Infrastruktur mit eingebundenen PCs, Workstations und ggf. Großrechnern;
Anbindung von administrativen, medizinischen und internationalen EDV-Netzen;
Bereitstellung von Standardsoftware für Forschung und Lehre wie Statistiksoftware, numerische Programmbibliotheken (NAG, Mathematika,...)
- ggf. eigenständige Software-Entwicklung für jene Bereiche, für die es keine kommerzielle Software gibt: Das reicht von der Entwicklung einfacher Anwendungen (GUIs, WAMASTAT,...) bis zu kompletten EDV-Systemen für medizinische Abteilungen

Träger dieser Dienstleistungen ist das Institut für Medizinische Informatik und insbesondere das angeschlossene medizinisch-wissenschaftliche Rechenzentrum mit seiner EDV-Beratungs-, EDV-Betriebs- und Softwareentwicklungsabteilung. Diese zentrale Einrichtung wird vornehmlich dann Träger dieser Dienstleistungen sein, wenn primär der Forschungs- und Lehrbereich betroffen ist. Sie kann jedoch auch auf Grund ihres umfangreichen Know-How auf dem Gebiet der Medizinischen Informatik und EDV gewisse Softwareentwicklungsarbeiten für den EDV-Krankenhausbetrieb in Absprache mit der EDV-Abteilung des Krankenhausbetreibers vornehmen.

1.3.5 EDV-Krankenhausbetrieb zur Patientenversorgung

Dem Krankenhausbetreiber obliegt

- der EDV-Krankenhausbetrieb der krankenhausweiten bzw. abteilungsweiten EDV-Systeme, die der Patientenversorgung dienen
- der Erwerb bzw. die Entwicklung der dazu notwendigen EDV-Systeme

Die Voraussetzungen zur Übernahme von all jenen EDV-Systemen, die Eingang in die EDV-Routine zur Aufrechterhaltung des Krankenhausbetriebes gefunden haben, sind vom Krankenhausbetreiber ggf. zu schaffen. Das betrifft auch jene EDV-Systeme, die ggf. in interdisziplinärer Kooperation zwischen Kliniken und Instituten und dem Institut für Medizinische Informatik entwickelt wurden, die aber zur Gänze dem Forschungsbetrieb entwachsen sind. Überschneidungen und Übergangszeiten sind hier natürlich möglich.

2. GRUNDBEGRIFFE DER MEDIZINISCHEN INFORMATIK

2.1 Nachricht und Information

Eine Nachricht ist eine konkrete Mitteilung, die Teil einer abstrakten Information ist. Die eigentliche Information erhält man erst nach Anwendung von Interpretationsvorschriften.

Beispiel:

Aus der Nachricht

"185"

erhält man durch die Interpretation

"Zahlenangabe in der Maßeinheit cm"

die Information

"185 cm"

Ist ferner bekannt, daß es sich um das Merkmal

"Körpergröße"

handelt, dann erhält man die Information

"Körpergröße von 185 cm".

Die Begriffe "Nachricht" und "Information" sind also nicht eindeutig definiert.

Ein **Kommunikationssystem** besteht aus einer Nachrichtenquelle, die eine Nachricht an eine Nachrichtensenke übermittelt. Die Übermittlung einer Nachricht ist ein zeitlicher physikalischer Vorgang. Durch einen Sender wird eine Nachricht in ein Signal umgeformt. Über einen Kanal gelangt diese an den Empfänger, der daraus die Nachricht rekonstruiert.

Beispiel:

Nachrichtenquelle = Arzt

Sender = Terminal (PC)

Signal = digitale Zeichenkette

Kanal = Koaxialkabel

Empfänger = Terminal (PC)

Nachrichtensenke = Krankenschwester

Neben der syntaktischen Ebene gibt es die semantische Ebene der Übermittlung, d.h. jeder Nachricht kommt eine Bedeutung zu. Dazu muß es zwischen Nachrichtenquelle und -senke eine Vereinbarung über die Interpretation von Nachrichten geben.

Die Übermittlung einer Nachricht soll eine bestimmte Reaktion in der Nachrichtensenke bewirken. Dabei spielen oft auch andere Einflüsse eine Rolle. Dies ist die pragmatische Ebene.

Beispiel:

Die Einweisungsdiagnose "*Cholelithiasis*" wird vom Arzt richtig interpretiert.

Ob eine "*Cholezystektomie*" durchgeführt wird, hängt jedoch von vielen anderen Umständen ab, wie z.B. vom Allgemeinzustand des Patienten.

Bei SHANNON wird die Übermittlung einer Nachricht als Ereignis interpretiert. Der Entscheidungsinhalt (Information) I eines einzelnen Ereignisses A , das mit der Wahrscheinlichkeit $P(A)$ eintritt, ist definiert als

$$I = -\log_2 P(A)$$

Da $0 \leq P(A) \leq 1$, ist I nicht negativ.

Sei (A_1, A_2, \dots, A_n) ein vollständiges System von Ereignissen.

Die Entropie (i.e. der Erwartungswert der Information) ist die mit den jeweiligen Wahrscheinlichkeiten $p(A_i)$ gewichteten Summe der Informationen $-\log_2 P(A)$.

$$H = -\sum_{i=1}^n p(A_i) \times \log_2(p[A_i])$$

Die Entropie ist in der SHANNON-Theorie der Erwartungswert der optimalen Strategie. Jede andere Strategie hat einen größeren oder gleichen Erwartungswert.

Die Differenz zur Entropie heißt Redundanz. Redundanzen sind in der Regel Ergebnisse von "nutzlosen" Entscheidungen.

Im EDV-Bereich sind Redundanzen unter Umständen erwünscht, um einen höheren Sicherheitsgrad zu erreichen. Dies gilt vor allem im Bereich von Krankenhausinformationssystemen, wo man von kontrollierter Redundanz spricht.

Beispiel:

- Eine vollständige Krankengeschichte wäre praktisch unendlich groß. Man beschränkt sich auf Fakten, durch welche sich ein konkreter Patient von anderen Menschen unterscheidet.
Es bringt keine Information, würde man vermerken, daß der Patient z.B. eine Nase hat.
- In einem komplizierten Merkmalssystem ist es daher oft ökonomischer sich nur die Unterschiede zwischen den Klassen zu merken. Bei einer Klassifikation lassen sich oft Redundanzen erkennen und ausnutzen. Es genügt dann die Zugehörigkeit zu einer Klasse zu registrieren. Das Erkennen und die Ausnutzung der Redundanz spart oft Arbeit (z.B. ökonomisches Lernen).

2.2 Sprache und Codierung

Die Sprache wird in der Regel für den Nachrichtenaustausch zwischen Menschen verwendet. Eine Sprache besteht aus Elementen, die nach fixen Regeln zu Silben, Wörtern, Sätzen kombiniert werden. Die Elemente einer Sprache nennt man Zeichen.

(Bei der geschriebenen Sprache spricht man auch von Graphemen, bei der gesprochenen Sprache von Phonemen).

Die Menge aller verwendeten Zeichen bildet den Zeichenvorrat.

Ist eine Ordnung im Zeichenvorrat definiert, dann spricht man von einem Alphabet.

Beispiel:

- In der Informatik wird ein Zeichenvorrat verwendet, der aus 2 Zeichen (0, 1) besteht ("binärer Zeichenvorrat"). Daraus leitet sich das Wort Bit (= binary digit) ab.
- Bei den meisten geschriebenen Sprachen ist ein Zeichen ein Buchstabe und der Zeichenvorrat ist alphabetisch geordnet.

Die Linguistik (= vergleichende Sprachforschung) befaßt sich mit dem Aufbau von Wörtern aus Zeichen.

In der Syntax sind die Regeln zum Aufbau größerer sprachlicher Einheiten, z.B. Sätze aus Wörtern festgelegt.

Die Semantik beschäftigt sich mit dem Inhalt und der Bedeutung.

Bei der Pragmatik werden Sprecher und Hörer in Bezug auf den gemeinsamen Wissensstand miteinbezogen.

Ein **Symbol** ist ein Zeichen in Verbindung mit einer Bedeutung.

Ein **Wort** ist eine Folge von Zeichen und gleichzeitig der kleinste selbständige Bedeutungsträger.

Ein **Code** (Verschlüsselung) ist eine Vorschrift zur Abbildung einer Nachricht über einen Zeichenvorrat in eine Nachricht über einen anderen Zeichenvorrat.

Beispiel:

"männlich" → M, "weiblich" → W

Gründe für Codierungen in der Medizin:

- Geheimhaltung
- Verkürzung einer Nachricht (z.B. PCP = progrediente chronische Polyarthrititis)
- EDV-gerechte Darstellung von Nachrichten (z.B. 5711 = akute alkoholische Hepatitis)

In der Medizin gibt es neben digitalen, aus einzelnen Zeichen aufgebauten Nachrichten auch analoge, nicht-digitale Nachrichten (z.B. Aufzeichnung eines EKG, Bilder). Zur digitalen Verarbeitung müssen solche Nachrichten durch Analog-Digital-Wandlung in digitale Nachrichten abgebildet werden. Die modernen medizin-technischen Geräte (z.B. EKG-Apparate) haben eingebaute Analog-Digital-Wandler und bieten die Nachricht in digitaler Form über eine genormte technische Schnittstelle an.

2.3 Medizinische Begriffe, Terminologie und Klassifikationssysteme

Ein Begriff ist eine abgrenzbare Einheit des Wissens. In der Medizin haben Begriffe eine tragende Bedeutung (z.B. in der Diagnostik). Es liegt daher nahe zu versuchen, die medizinischen Begriffe zu ordnen, wobei man die Klassifikation als Hilfsmittel verwendet.

Beispiel:

Die Klassifikation von Begriffsmengen wird benötigt bei der Seuchenbekämpfung (Einsatzplanung und Vergleich), Krebsbekämpfung u.a.

Zwischen den Begriffen können ferner Beziehungen bestehen, z.B. Querverweise zu anderen Begriffen. Begriffe und Beziehungen zusammen bilden einen **Thesaurus**.

Beispiel (für einen Thesaurus):

Der Thesaurus „KRANKENHAUSWESEN“. Er umfaßt Begriffe aus dem interdisziplinären Gebiet des Gesundheits- und Krankenhauswesens. Die Begriffe entstammen im wesentlichen den Fachbereichen der Medizin, des Bauwesens und der Architektur, der Technik, der Volks- und Betriebswirtschaft, der Sozialwissenschaften sowie einiger Randbereiche.

Beispiel:

Im Thesaurus ist vermerkt:

- der Begriff "Ambulatorium" besitzt den Oberbegriff "Krankenhaus"
- im Begriff "Krankenhaus" sind die Begriffe "Erste Hilfe", "Gesundheitszentrum" eingeschlossen

In der Medizin werden Namen vergeben, um ein Objekt zu benennen. Eine systematische Ordnung von Namen heißt **Nomenklatur**. Damit wird aber noch keine Einordnung (etwa im Sinne einer Klassifikation) vorgenommen.

Nomenklaturen in der Medizin sind

- die "Nomina anatomica"
- die Namen der Infektionskrankheiten

Unter der **Terminologie** versteht man die Menge aller verwendeten Begriffe. Synonym dazu spricht man auch vom einzelnen Begriff als Terminus und versteht darunter eine Bezeichnung, die auf ein Objekt und seine Eigenschaften hinweist.

Beispiel:

- "akute Pankreatitis"
- "Vorderwandinfarkt"

Medizinische Termini sind oft nicht scharf abgegrenzt („fuzzy“).

Beispiel:

- cerebrum = Großhirn; cerebral = bezieht sich auf das ganze Hirn inklusive Großhirn. Hierbei stellt sich die Frage der Verwendung bzw. Zulassung von Synonymen in der Dokumentation.
- In der medizinischen "Umgangssprache" kommen oft homonyme Bezeichnungen vor, d.h. der gleiche Begriff wird für Regionen und spezifische Strukturen verwendet (z.B. "Bruch", "Brust",...).

Erforderliche Schritte, um zu einer standardisierten Terminologie zu kommen:

1. Definition des Zwecks und des Anwendungsbereichs
2. Auswahl der Termini aus dem Wortschatz der medizinischen Literatur
3. Definition der Begriffe und der Skalierung
4. Festlegung der Beziehungen

Internationale Gremien, die sich mit diesem Problem beschäftigen:

- CMIT - Current Medical Information and Terminology
- CIOMS - Council for International Organizations of Medical Sciences

Die Terminologie der Krankheiten setzt voraus, daß eine Krankheit als selbständig definierte Einheit (ohne Patient) vorliegt.

Ein **Lexem** ist die kleinste sprachliche Einheit mit nicht weiter zerlegbarer Information.

Ein Lexem kann sein

- ein Morphem (z.B. Haut)
- ein Wort (z.B. Regenbogenhaut)
- eine Phrase (z.B. Corpus luteum)

Werden die Lexeme eines Faches systematisch geordnet, dann spricht man von einer **Klassifikation**, wenn die Klassen untereinander disjunkt sind. Diese Forderung läßt sich in der Medizin aufgrund der Schwierigkeiten bei der Abgrenzung der Termini nicht immer in vollem Umfang aufrecht erhalten.

Die vielfachen Schwierigkeiten bei Klassifikation von medizinischen Begriffen lassen sich dadurch teilweise entschärfen, daß man eine mehrdimensionale Klassifikation nach sogenannten Facetten vornimmt. Man spricht dann von der **Facetten-Klassifikation**. Damit werden die Schwierigkeiten von Fach zu Fach innerhalb der Medizin beseitigt.

Beispiel:

Eine von Pathologen bevorzugte Klassifikation nach diagnostischen Kriterien (Histologie) ist u.U. für den Kliniker nicht brauchbar, der eine Einteilung nach therapeutischen und/oder prognostischen Kriterien (klassische Klassifikation der Tumoren) bevorzugt. Mit der Facetten-Klassifikation hat man ein für alle Fächer brauchbares Werkzeug in der Hand.

Zwischen den Facetten sind Querverweise (cross references) ein Hilfsmittel, um die verschiedenen Dimensionen zu überblicken.

Die Facetten-Klassifikation der medizinischen Begriffe besteht aus:

- Topographie - Einteilung nach Regionen oder Systemen
- Morphologie - Einteilung nach sichtbaren Strukturen und Veränderungen
- Ätiologie - Ursache von Veränderungen
- Nosologie - Krankheitslehre
- Funktionen - Funktionelle/Dysfunktionelle Einteilung

2.3.1 Klassifikationen in der Medizin

- **ICD-Klassifikation**

Die ICD (International Classification of Diseases)-Klassifikation wurde im Jahre 1855 von FARR entwickelt. Seit 1946 wird dieses System von der Weltgesundheits-Organisation WHO verwaltet und regelmäßig (ca. alle 10 Jahre) überarbeitet. Das ICD-System ist eine eindimensionale Klassifikation.

Derzeit ist der ICD-10 im Einsatz.

- **SNOMED**

Die SNOMED (Systematisierte Nomenklatur in der MEDizin) wurde Ende der 80-iger Jahre, aufbauend auf einem von Pathologen in USA und Kanada entwickelten System namens SNOP entwickelt und von WINGERT (Institut für MI und Biomathematik, Uni Münster) für den deutschen Sprachraum überarbeitet.

Es handelt sich um eine Facetten-Klassifikation mit 7 Dimensionen als Basis. Zu den oben genannten 5 Facetten kommen in der SNOMED noch die Dimensionen "Prozeduren" und "Beruf" hinzu.

Beispiel:

Diagnose	ICD	SNOMED

Cholelithiasis	5742	M30010 : T57000
Crouveilhier-Baumgarten Syndrom	5715	D64620

Der jeweilige Buchstabe am Anfang des SNOMED-Codes gibt die Facette an (M = Morphologie, T = Topographie, D = Nosologie).

3. KLASSISCHE LOGIK UND FUZZY LOGIK

3.1 Klassische zwei- und dreiwertige Logik

Die klassische zweiwertige Logik kennt nur die beiden Zustände:

0 = FALSCH 1 = WAHR

Im medizinischen Bereich ist es möglich, daß bei einem konkreten Objekt einzelne Daten

- nicht erhoben werden oder
- nicht erhoben werden können.

Das Merkmal hat dann die Ausprägung "unbestimmt". Dies hat zur Folge, daß bei Auswertungen und anderen MI-Verfahren eine dreiwertige Logik verwendet werden muß, mit den Wahrheitswerten "wahr", "falsch" und "unbestimmt".

Wahrheitstafeln für die dreiwertige Logik:

(am Beispiel einer Zuordnung S = Symptom zu D = Diagnose);

dabei bedeutet:

0 = FALSCH 1 = WAHR ? = UNBESTIMMT

$S \wedge D$			
	0	1	?
0	0	0	0
1	0	1	?
?	0	?	?

$S \vee D$			
	0	1	?
0	0	1	?
1	1	1	1
?	?	1	?

$S \equiv D$			
	0	1	?
0	1	0	?
1	0	1	?
?	?	?	?

$S \rightarrow D$			
	0	1	?
0	1	1	1
1	0	1	?
?	?	1	?

$S \rightarrow (\neg D)$			
	0	1	?
0	1	1	1
1	1	0	?
?	1	?	?

$S \leftarrow D$			
	0	1	?
0	1	0	?
1	1	1	1
?	1	?	?

Praktische Anwendung erfährt die Aussagenlogik bei der **Computerdiagnostik**.

Die Einführung der Aussagenlogik in die medizinische Diagnostik erfolgte durch LEDLEY und LUSTED. Auf Basis dieser Arbeiten wurde im Jahr 1968 am Institut für Medizinische Computerwissenschaften ein Diagnosesystem entwickelt.

Es wurden die folgenden Beziehungen zwischen Symptomen und Krankheiten berücksichtigt:

- Vorkommen eines Symptoms bei einer Krankheit
- Beweiskraft eines Symptoms für das Vorliegen einer Krankheit

Diese zwei Aspekte lassen sich miteinander kombinieren und führen zu den folgenden 6 Beziehungen zwischen Symptomen und Krankheiten.

Im Falle einer unbekannten Beziehung erfolgt keine Eintragung.

obligat und beweisend (OB)	$S \equiv K$
fakultativ und beweisend (FB)	$S \Rightarrow K$
obligat und nicht beweisend (ON)	$S \Leftarrow K$
fakultativ und nicht beweisend (FN)	$(S \Rightarrow K) \vee (S \Rightarrow \neg K)$
ausschließend, wenn vorhanden (A)	$S \Rightarrow \neg K$
weist auf Zweitdiagnose hin (H)	$S \wedge K_j \Rightarrow K_1 \vee \dots \vee K_{j-1} \vee K_{j+1} \vee \dots$
unbekannte Beziehung	blank

Diese Beziehungen lassen sich als Inferenzregeln interpretieren, d.h. in der Form von WENN-DANN-Regeln schreiben:

OB:	WENN S	DANN K
	oder	
	WENN $\neg S$	DANN $\neg K$
FB:	WENN S	DANN K
ON	WENN $\neg S$	DANN $\neg K$
FN:	WENN S	DANN K MÖGLICH
A :	WENN S	DANN $\neg K$

3.2 Gründe für die Unschärfe in der Medizin

Bei den "Hard Sciences" (Physik, Chemie, Ingenieurwesen) verwendet man in der Regel exakte mathematische Modelle. Diese setzen exakte Begriffe und Relationen voraus. Dies steht oft im Widerspruch zur realen Welt, wo Begriffe ungenau bzw. unscharf definiert sind.

In den "Soft Sciences" (Psychologie, Soziologie, Medizin, Wirtschaftslehre) hat man oft große Schwierigkeiten bei der Aufstellung mathematischer Modelle. In vielen Bereichen dieser Wissenschaften ist deshalb keine exakte Modellbildung möglich, da sich diese "Soft Sciences" neben der wissenschaftlichen Erkenntnis auch auf Empirie stützen.

Weiters sind die Nebenbedingungen, die die exakten Verfahren voraussetzen, meist nicht erfüllbar (z. B. statistische Unabhängigkeiten von Ereignissen, genügend große Stichproben).

Einteilung der in der Information auftretende Unschärfe nach ihrer Ursache:

- Unschärfe im Sinne von **Ungenauigkeit** (vagueness, inprecision).
Sie tritt in medizinischen Daten bei der Messung diverser chemischer, physikalischer und elektrischer Parameter des Menschen und bei der Auswertung (Klassifikation, Bildanalyse) der Ergebnisse von Spezialuntersuchungen (z. B. EKG, EEG, Röntgenbilder, CT, usw.) auf.

Ursachen:

meist Meßungenauigkeiten

Die Unschärfe ist vielfach ein Ausdruck des menschlichen Empfindens
(z.B. "hohes Fieber", "junge Frau", "vertretbares Risiko")

Hier lassen die Adjektive keine eindeutige Beschreibung zu. Die Interpretation ist

subjektiv.

- Unschärfe im Sinne von **Unvollständigkeit** (incompleteness).
Unschärfe Begriffe, mit denen in der Medizin gearbeitet wird, sind z.B.
'etwa 62%', 'häufig', 'vergrößerte Leber', 'weitgehend', 'gewöhnlich',
"nicht viel größer als", "erheblich jünger als", "ungefähr gleich"

Ursache

meistens Informationsmangel, d.h. die Informationen können oft nicht ermittelt werden (z.B. sind die notwendigen Untersuchungen für den Patienten ein zu großes Risiko), oder sie wurden aus Kosten- oder Termingründen noch nicht ermittelt (z.B. Notfallaufnahme).

Das unsichere Wissen kann in diesen Fällen auch noch andere Ursachen haben:

- Unzuverlässigkeit von Informationsquellen
 - Meßfehler
 - subjektive Interpretation
 - biologische Variabilität
 - fehlende Normierungen
 - usw.
- Unschärfe auf Grund von **Zufälligkeiten** (randomness).
In der Medizin tritt eine Unschärfe aufgrund der biologischen Variabilität auf, da jeder Mensch individuell reagiert. Bekanntlich erscheint vieles im biologischen Bereich nach außen hin als zufälliges Ergebnis.

3.3 Theorie der Fuzzy-Logik

Um auch mit unscharfen Mengen und Beziehungen exakt arbeiten zu können, entwickelte ZADEH 1965 die "Fuzzy Set Theorie". In dieser erfolgt eine mathematische Behandlung von vagen, unscharfen, nicht exakt definierten Begriffen. Zusätzlich zu den bekannten binären "scharfen" Mengen z.B. $\{0,1\}$ führte er unscharfe Mengen, **Fuzzy Sets**, ein. Die Zugehörigkeit eines Elementes zu einer derartigen Menge ist dabei nicht nur durch die Werte 0 oder 1 beziehungsweise durch "falsch" oder "wahr" charakterisiert, sondern kann jede beliebige reelle Zahl zwischen 0 und 1 annehmen.

In der klassischen Mengenlehre ist die Zugehörigkeit eines Objektes zu einer Menge auf "ist Element" oder "ist nicht Element", "wahr" oder "falsch" bzw. "1" oder "0" beschränkt. Eine solche klassische scharfe Menge kann z. B. dadurch beschrieben werden, dass alle Elemente, die zu der Menge gehören, einfach aufgelistet werden.

Beispiel:

Die Menge "heiß" (bezüglich der Lufttemperatur) könnte folgendermaßen beschrieben werden:

$$\text{"heiß"} = \{30^0, 31^0, 32^0, 33^0, 34^0, 35^0\}$$

Die Zugehörigkeit eines Elementes zur Menge wird durch die charakteristische Funktion - **Zugehörigkeitsfunktion** genannt - beschrieben. Diese Funktion wird üblicherweise mit μ bezeichnet, wobei "1" Zugehörigkeit und "0" Nichtzugehörigkeit bedeutet.

Beispiel für eine solche Funktion:

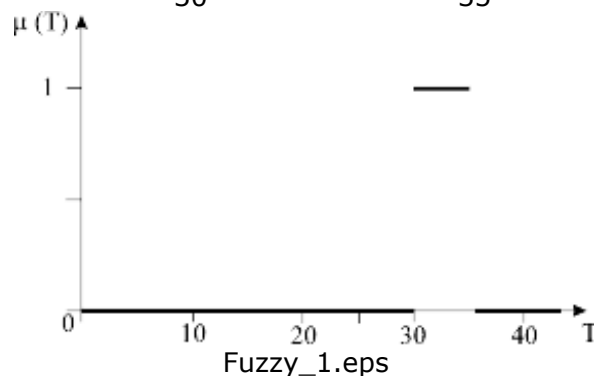
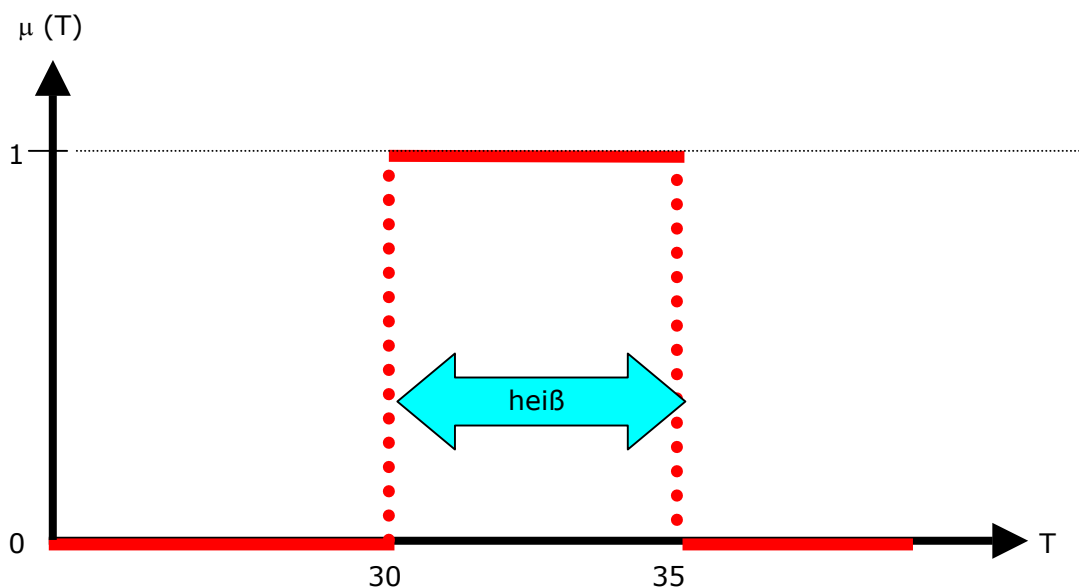


Abb. 6.1: scharfe Menge

Im Unterschied zu scharfen Mengen sind bei unscharfen Mengen für die Werte der Zugehörigkeitsfunktion nicht nur 0 und 1 zugelassen, sondern beliebige Werte aus dem abgeschlossenen Intervall $[0,1]$. Damit ist es möglich, den Übergang zwischen "Gehört dazu" und "Gehört nicht dazu" aufzuweichen. Denjenigen Elementen wird der Funktionswert 0 zugeordnet, die nach Ansicht des Beurteilenden die gewünschte Eigenschaft mit Sicherheit nicht aufweisen. Ein großer Wert bedeutet einen hohen Grad an Zugehörigkeit.

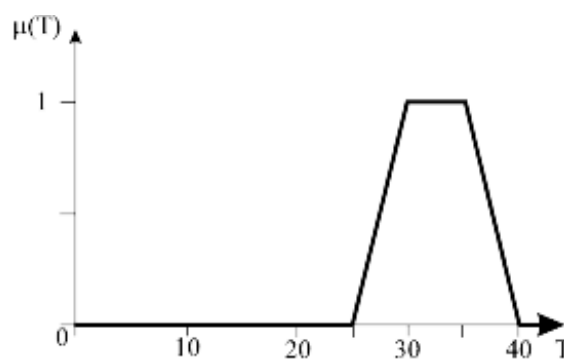
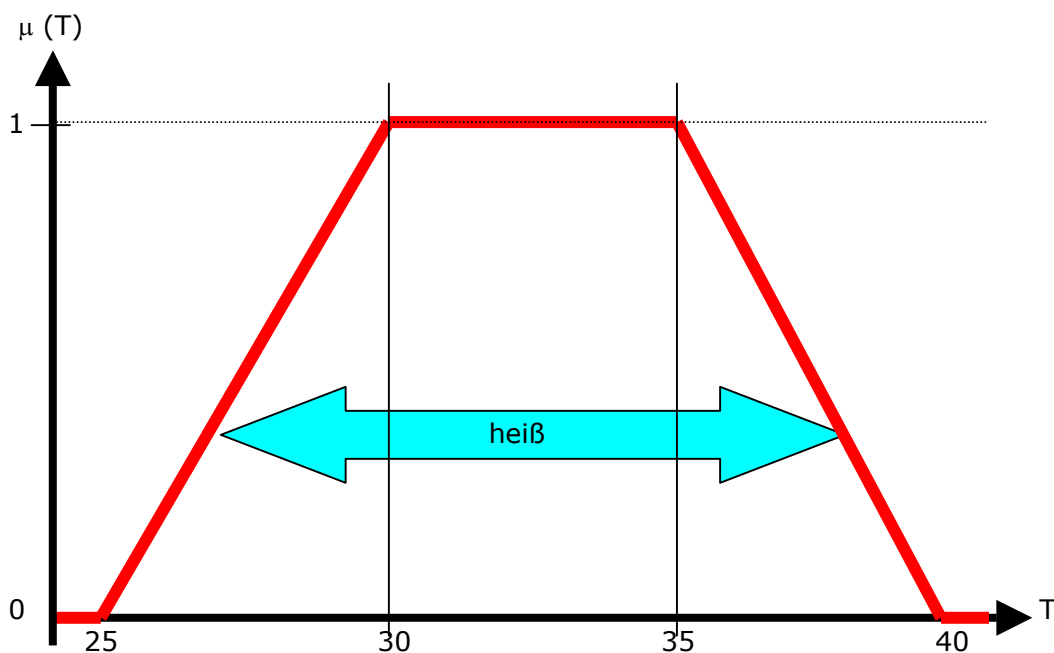
Jede unscharfe Menge ist somit durch eine Zugehörigkeitsfunktion charakterisiert, die für jedes Element des betrachteten Anwendungsbereiches die Stärke der Zugehörigkeit zu dieser unscharfen Menge festlegt.

Beispiel:

Eine unscharfe Zugehörigkeitsfunktion zeigt Abb. 6.2.

Diese Funktion könnte man so interpretieren:

- Zwischen 30°C und 35°C ist es heiß
- bis zu einer Temperatur von 25°C und ab 40°C ist es nicht heiß (bis 25°C würde man die Lufttemperatur als "warm", ab 40°C würde man sie als "sehr heiß" empfinden)
- In den Bereichen $[25^\circ, 30^\circ]$ und $[35^\circ, 40^\circ]$ ist es nicht eindeutig, da es subjektiv ist, ob jemand einen Wert in diesen Zwischenbereichen schon bzw. noch als "heiß" empfindet.

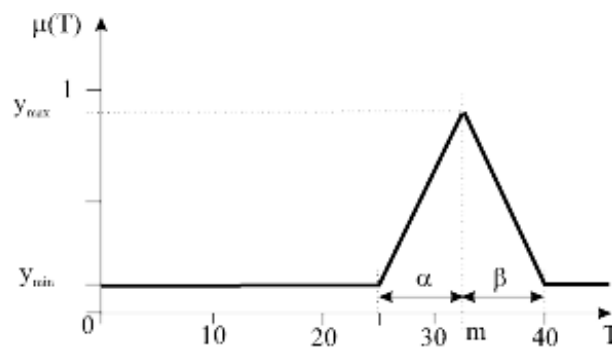
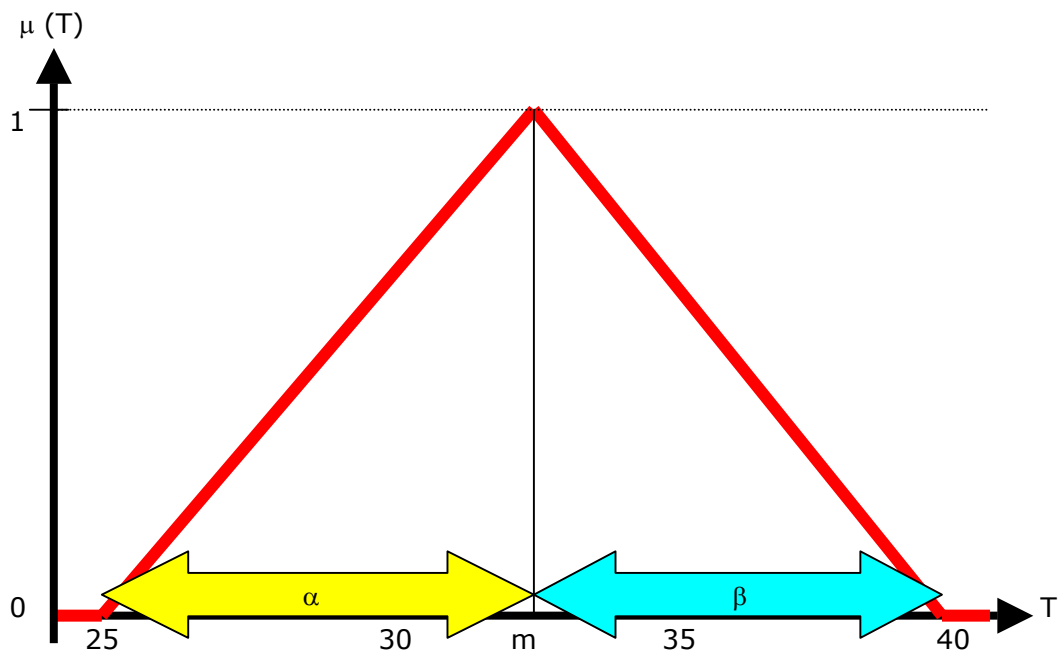


Fuzzy_2.eps

Abb. 6.2: Unscharfe Menge

Die einfachste Art der Darstellung sind dreiecksförmige Fuzzy-Sets. Dieses ist durch den Zahlensatz $\{m, \alpha, \beta, y_{\min}, y_{\max}\}$ vollständig definiert.

- m legt den x-Wert fest, für den die Zugehörigkeitsfunktion maximal ist
- α bzw. β legen den Abstand der linken bzw. rechten Ecke von m fest
- y_{\min} legt den minimalen und y_{\max} den maximalen Zugehörigkeitswert fest

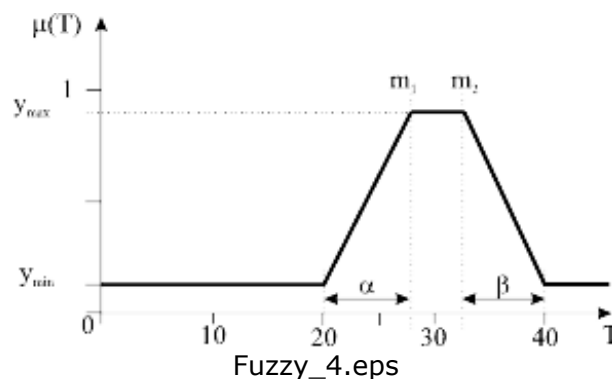


Fuzzy_3.eps

Abb. 6.3:

Ein Fuzzy-Set kann auch durch Trapeze dargestellt werden. Zur Festlegung sind dann insgesamt 6 Parameter erforderlich: $m_1, m_2, \alpha, \beta, y_{\min}, y_{\max}$, deren Bedeutung unmittelbar aus der Abb. 6.4 ersichtlich ist.

Darüberhinaus werden auch im ganzen Kurvenverlauf stetige Zugehörigkeitsfunktionen verwendet (Abb. 6.5).



Fuzzy_4.eps

Abb. 6.4: Trapezförmiges Fuzzy-Set

3.3.1 Mathematische Definitionen

Ein Fuzzy-Set läßt sich mathematisch als geordnete Menge von Paaren beschreiben:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$$

$\mu_A(x)$ Zugehörigkeitsfunktion (Grad der Zugehörigkeit) von x in A

$\mu_A(x)$ bildet die Menge X auf den Zugehörigkeitsraum M ab. Der Bereich der Zugehörigkeitsfunktion ist eine Untermenge der reellen Zahlen mit einer endlichen Obergrenze und der Untergrenze 0. Dabei ist es üblich, den Wertebereich der Zugehörigkeitsfunktion $\mu_A(x)$ auf das abgeschlossene Intervall $[0,1]$ zu beschränken. Ist dies der Fall, so spricht man von einem "normalisierten" Fuzzy-Set.

Beschränkt man sich auf die Zugehörigkeitswerte 0 und 1, so geht die Fuzzy-Logik in die bekannte binäre Logik über. Sie stellt somit keinen Widerspruch zur klassischen zweiwertigen Logik dar, sondern ist als deren Erweiterung oder Verallgemeinerung aufzufassen. Daher lassen sich viele Begriffe und Operationen der klassischen Logik und Mengenlehre auf unscharfe Mengen erweitern:

Definition 1:

Eine unscharfe Menge $A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$ ist genau dann **leer** und wird mit ϕ symbolisiert, wenn ihre Zugehörigkeitsfunktion über X identisch gleich 0 ist, d.h.

$$\mu_A(x) = 0 \quad \forall x \in X$$

Definition 2:

Zwei unscharfe Mengen A, B sind genau dann **gleich**, geschrieben $A = B$, wenn ihre Zugehörigkeitsfunktionen über X identisch sind, d.h.

$$A=B \Leftrightarrow \mu_A(x) = \mu_B(x) \quad \forall x \in X$$

Definition 3:

Eine unscharfe Menge A ist genau dann in der unscharfen Menge B **enthalten**, geschrieben $A \subseteq B$, wenn für die Zugehörigkeitsfunktionen gilt:

$$A \subseteq B \Leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad \forall x \in X$$

Gilt $\forall x \in X$ das strenge Ungleichheitszeichen, so heißt A **echt enthalten** in B (Abb. 6.5).

$$A \subset B \Leftrightarrow \mu_A(x) < \mu_B(x) \quad \forall x \in X$$

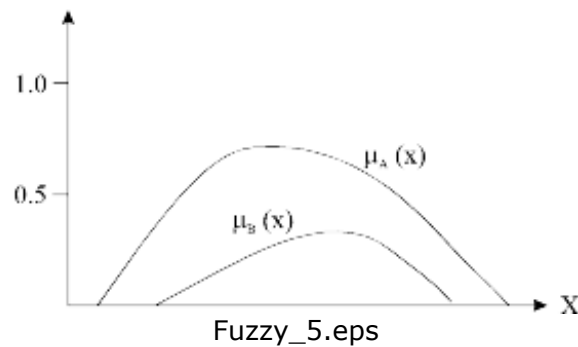


Abb. 6.5: Unscharfe echte Teilmenge mit stetigem Kurvenverlauf

Manchmal ist es nützlich, nicht mit der gesamten Fuzzy-Menge zu arbeiten, sondern nur mit einer Teilmenge. Eine mögliche Art der Auswahl einer Teilmenge aus der Grundmenge stellt die **α -Niveau-Menge** dar. Diese Menge ist dadurch charakterisiert, daß der Wert der Zugehörigkeitsfunktion aller ihrer Elemente größer als ein vorgegebenes Niveau $\alpha \in [0,1]$ ist.

Definition 4:

Für eine unscharfe Menge A und eine reelle Zahl $\alpha \in [0,1]$ heißt die gewöhnliche Menge

$$A_\alpha = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha\}$$

α -Niveau-Menge (α -level set, α -cut) von A.

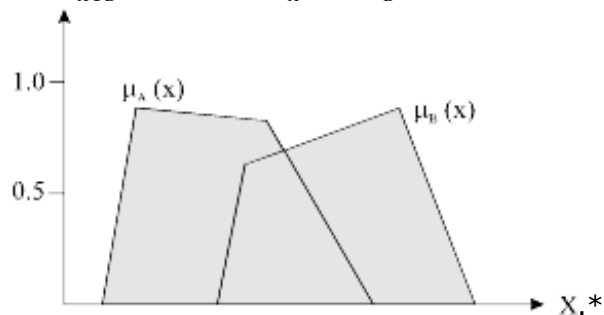
Weiters gelten für unscharfe Mengen folgende Beziehungen:

- $\emptyset \subseteq A \quad \forall A$
- $A \subseteq B \Rightarrow P(A) \subseteq P(B)$ P(A), P(B).....Potenzmenge von A bzw. B
- $(A \subseteq B \text{ und } B \subseteq A) \Rightarrow A = B$
- $(A \subset B \text{ und } B \subset C) \Rightarrow A \subset C$ Transitivität

Auf unscharfen Mengen können alle Mengenoperationen, die von scharfen Mengen bekannt sind, übertragen werden.

Vereinigung:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \forall x \in X$$

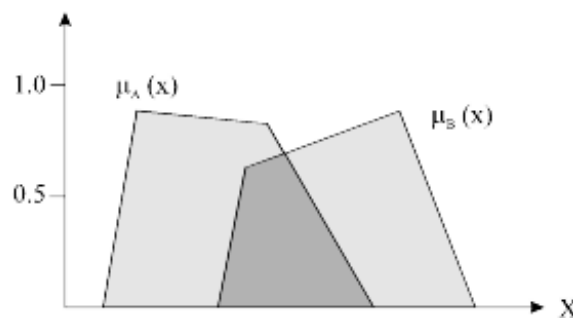


Fuzzy_6.eps

Abb. 6.6: Vereinigung zweier unscharfer Mengen

Durchschnitt:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \forall x \in X$$



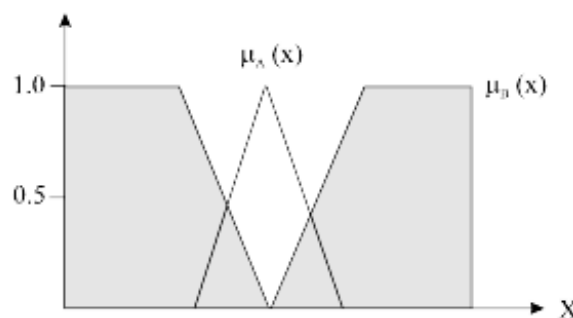
Fuzzy_7.eps

Abb. 6.7: Durchschnitt zweier unscharfer Mengen

Durchschnitt und Vereinigung von unscharfen Mengen sind kommutativ, assoziativ und distributiv.

Komplement:

$$\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad \forall x \in X$$



Fuzzy_8.eps

Abb. 6.8: Komplement einer unscharfen Menge

3.3.2 Linguistische Variable

In der Praxis hat man es oft mit verbalen Ausdrücken zu tun wie

heiß, sehr warm, mäßig warm, mäßig kalt, sehr kalt.

Auch die Möglichkeiten der klassischen Logik "wahr" und "falsch" werden oft um abgestufte Wertungen wie:

ziemlich falsch, recht wahr, usw.

erweitert. Man führt deshalb linguistische Variable ein, die diesen umgangssprachlichen Formulierungen exakte Werte zuordnen, mit denen dann gerechnet werden kann.

Der Unterschied zu numerischen Variablen besteht darin, daß bei linguistischen Variablen die Werte nicht Zahlen sind, sondern Wörter und Ausdrücke der Umgangssprache oder einer Fachsprache (z.B. der medizinischen Fachsprache). Da Wörter nicht so präzise sind wie Zahlen (z.B. bei der Temperatur hängt die Interpretation vom subjektiven Empfinden ab), werden die einzelnen Werte von linguistischen Variablen mittels der Fuzzy-Set-Theorie durch unscharfe Mengen dargestellt.

Eine linguistische Variable hat verschiedene Ausprägungen, die in eine zu der Variablen zugehörigen Menge zusammengefaßt werden.

Beispiel:

Zur Variablen "Serumspiegel im Blut" gehört die Menge

$A = \{\text{'stark erniedrigt'}, \text{'schwach erniedrigt'}, \text{'normal'}, \text{'schwach erhöht'}, \text{'stark erhöht'}\}$

Jedes Element $x \in A$ wird beschrieben durch eine unscharfe Menge über der Grundmenge

$U = \{\text{'Menge aller möglichen Ergebnisse des Serumspiegels im Blut'}\}$

Jeder Variablen $\in A$ ordnet man nun eine eigene Zugehörigkeitsfunktion zu.

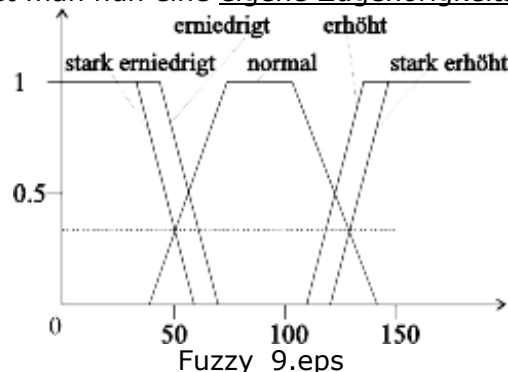


Abb. 6.9: Linguistische Variable "Serumspiegel im Blut" mit den Ausprägungen: stark erniedrigt, erniedrigt, normal, erhöht, stark erhöht

Auch die Begriffe "wahr" und "falsch" sowie diverse Abstufungen können als linguistische Variablen aufgefaßt werden. Eine mögliche Zuordnung der Wahrheitsbegriffe zu einem numerischen Intervall zeigt die folgende Tabelle.

Wahrheitsbegriff	Numerisches Intervall
Immer wahr	[1.0, 1.0]
Extrem wahr	[0.95, 0.99]
Sehr wahr	[0.80, 0.94]
Beträchtlich wahr	[0.65, 0.79]
Einigermassen wahr	[0.45, 0.64]
Mehr oder weniger wahr	[0.30, 0.44]
Leicht wahr	[0.10, 0.29]
Minimal wahr	[0.01, 0.09]
Nicht wahr	[0.0, 0.0]

