

## Integration von Fuzzy-Methoden in Bewertungsverfahren

Sebastian REINBERG, Johann BRÖTHALER

(Dipl.-Ing. Sebastian Reinberg, Mitterweg 47, A-3500 Krems, e-mail: e9025732@stud2.tuwien.ac.at;  
Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr. Johann Bröthaler, Institut für Finanzwissenschaft und Infrastrukturpolitik, TU Wien, Karls gasse 11, A-1040 Wien;  
e-mail: jbroetha@email.tuwien.ac.at)

### 6. RAUMPLANUNG, BEWERTUNG UND UNSCHÄRFE

Eine der Hauptaufgaben der Raumplanung ist die Entscheidungsfindung. In den Entscheidungsprozeß fließen unzählige Kriterien und Ziele und auch menschliche Präferenzen von unterschiedlichster Wichtigkeit ein, zwischen denen nicht selten abgewogen werden muß. Der gesamte Planungsprozeß ist von Bewertungsfragen durchsetzt. **Bewertung** im eigentlichen Sinn dient dem Vergleich von Planungsalternativen (Strategien, Projekten, Investitionen, etc.) anhand verschiedener aus Zielsystemen abgeleiteten Bewertungskriterien sowie der Entscheidung, inwieweit eine von diesen Alternativen geeignetes Mittel zur Erreichung der angestrebten Ziele ist. Bewertungsverfahren in der Raumplanung stehen stets in enger Beziehung mit der Analyse und Simulation realer (räumlicher) Phänomene. Die Nachbildung der Realität mittels Modellen ist dabei ein notwendiges Hilfsmittel zum Erkennen von Zusammenhängen und zum Treffen von Entscheidungen. Die Raumplanung bedient sich dabei verschiedener, auf klassischer Logik und klassischem Mengenbegriff basierender Methoden (z. B. der Mathematik und Statistik).

Dem Bemühen, möglichst realitätsnahe Planungs- und Entscheidungsmodelle zu entwickeln, steht grundsätzlich entgegen, daß die **Raumplanung** zum Großteil mit "*unscharfen*" *Phänomenen und Informationen* (Zielen, Bewertungen, Begriffen, Daten etc.) konfrontiert ist, die sich mit den klassischen Methoden und Modellen nur schwer abbilden lassen. Mit **Unschärfe** wird die durch verschieden Arten von **Unsicherheit** bedingte, nicht eindeutige Abgrenzbarkeit von Zugehörigkeiten, Mengen, Ereignissen, Aussagen, Daten, usw. bezeichnet. Folgende *Formen von Unsicherheiten* können unterschieden werden (vgl. H. Zimmermann, 1993, S. 5 f.):

- *Zufällige* Unsicherheiten sind auf den Einfluß von zufallsbedingten (stochastischen) Faktoren zurückzuführen. Solche Unsicherheiten können im Normalfall mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitstheorie modelliert werden.
- *Lexikale (sprachliche)* Unsicherheiten resultieren aus der inhaltlichen Unklarheit, der undefiniertheit oder der Kontextabhängigkeit von Wörtern und Sätzen. Beispielsweise differieren "niedrige Grundstückspreise" im Stadtzentrum oder in der Landgemeinde trotz gleicher sprachlicher Bezeichnung in ihrer numerischen Ausprägung ganz erheblich.
- *Informationale* Unsicherheiten sind Unsicherheiten, die auf einen Überfluß oder Mangel an Information zurückzuführen sind. Die verfügbare Informationsmenge ist also nicht ausreichend oder aber größer als die menschliche Aufnahmefähigkeit. Informationale Unsicherheit tritt auch auf, wenn Begriffe verwendet werden, die, obwohl eindeutig, durch eine "unüberschaubare" Anzahl von Eigenschaften beschrieben werden. Ein Beispiel hierfür könnte der Begriff "Lage" sein. Die Beurteilung derselben bedient sich etwa der Faktoren "Parkplatzverfügbarkeit" und "Einkaufsmöglichkeiten", aber sie berücksichtigt auch Verbindungen dieser Kategorien untereinander. Die Arten und die Anzahl dieser Verknüpfungen machen es dem Menschen, obwohl die einzelnen Bedingungen einfach und klar verständlich sind, unmöglich, ein Gesamturteil abzugeben.

Es sind also Methoden notwendig, die es ermöglichen, die durch lexikale und informationale Unsicherheiten bedingten Unschärfen in den Verfahren der Raumplanung adäquat zu berücksichtigen. Formalisierte und operationalisierbare Ansätze zur Berücksichtigung von Unschärfe in quantitativen Methoden bietet die **Theorie der unscharfen Mengen**. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, potentielle Einsatzmöglichkeiten von Methoden aus dem Bereich der Theorie der unscharfen Mengen (Fuzzy-Methoden) in Bewertungsverfahren aufzuzeigen. Hiezu werden in Kapitel 2 die Grundelemente der Fuzzy-Theorie kurz beschrieben und daraus

in Kapitel 3 die Möglichkeiten der Integration von Fuzzy-Methoden in Bewertungsverfahren (am Beispiel der Nutzwertanalyse) abgeleitet und in Kapitel 4 anhand eines Anwendungsbeispiels veranschaulicht.

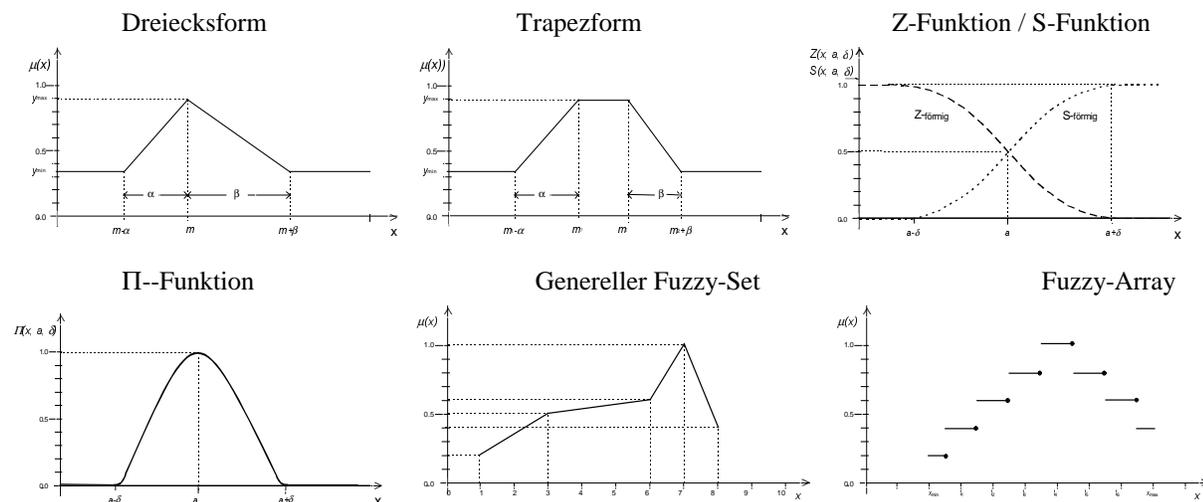
## 7. GRUNDELEMENTE DER FUZZY-THEORIE

Die Theorie der unscharfen Mengen ("Fuzzy-Set Theory") stellt eine Erweiterung der klassischen Mengenlehre, ihr Pendant die Fuzzy-Logik ("Fuzzy-Logic") eine Erweiterung der klassischen Logik dar. Sie erweitert den traditionellen Mengenbegriff und versucht der Realität Rechnung zu tragen, indem sie die **Darstellung und Verarbeitung unscharfer Informationen mit scharfen Methoden möglich** macht (A. Mayer et al., 1993, S. 2). Um die potentiellen Anwendungsmöglichkeiten von Fuzzy-Methoden beurteilen zu können, werden nachfolgend die Grundelemente der Theorie der unscharfen Mengen kurz dargestellt.

### 7.1. Zugehörigkeitsfunktionen

Die Theorie der unscharfen Mengen geht im Gegensatz zur klassischen Mengenlehre von einer **gradueller Zugehörigkeit** von Elementen **zu Mengen** aus, während bei klassischen "scharfen" Mengen vorausgesetzt wird, daß sich die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Menge für jedes Objekt eindeutig bestimmen läßt. Der Wert dieses Zugehörigkeitsgrades, der jedem Element einer unscharfen Menge zugeordnet wird, wird mit Hilfe der sogenannten Zugehörigkeitsfunktion der unscharfen Menge bestimmt. Auf diese Art werden Zahlen oder scharf abgegrenzte Intervalle durch Funktionen ersetzt. Eine Zugehörigkeitsfunktion kann für jedes Element stufenlos zwischen Zugehörigkeit und Nichtzugehörigkeit zur Menge entscheiden. Die Form einer solchen Funktion, die über einer Basisvariablen definiert wird, kann unterschiedlich sein und muß stets an den jeweiligen Anwendungsfall angepaßt werden. Die wichtigsten Arten von **Zugehörigkeitsfunktionen** sind beispielhaft in Abbildung 7-1 dargestellt.

Abbildung 7-1: Arten von Zugehörigkeitsfunktionen unscharfer Mengen



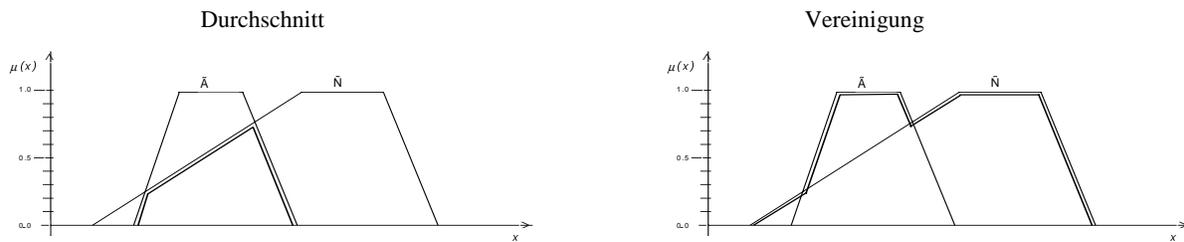
Quelle: A. Mayer et al., 1993, S. 17-28; eigene Darstellung, 1996.

**Linguistische Variablen** stellen eine spezielle Form von unscharfen Mengen dar. Die Ausprägungen linguistischer Variablen sind nicht Zahlen oder Verteilungen sondern **Worte** und **Ausdrücke** (Terme) einer natürlichen oder künstlichen Sprache. Diese Terme werden inhaltlich durch unscharfe Mengen auf entsprechenden Basisvariablen definiert. Beispielsweise kann die linguistische Variable „Lagegunst“ durch die Terme „hoch“, „mittel“, „gering“ und die Basisvariable „Entfernung zur nächsten Infrastruktureinrichtung“ definiert werden. Linguistische Variablen werden dazu verwendet, linguistisch ausgedrücktes Wissen mit all seinen Unschärfen ohne Verlust an Inhalt in eine formale, computerverständliche Sprache zu übersetzen.

## 7.2. Operatoren

Die Kombination unscharfer Mengen erfolgt mittels **Operatoren** (Verknüpfungsregeln). Diese werden durch Operationen über die jeweiligen Zugehörigkeitsfunktionen definiert und liefern als Ergebnis wieder eine unscharfe Menge bzw. Zugehörigkeitsfunktion (vgl. Abbildung 2-2).

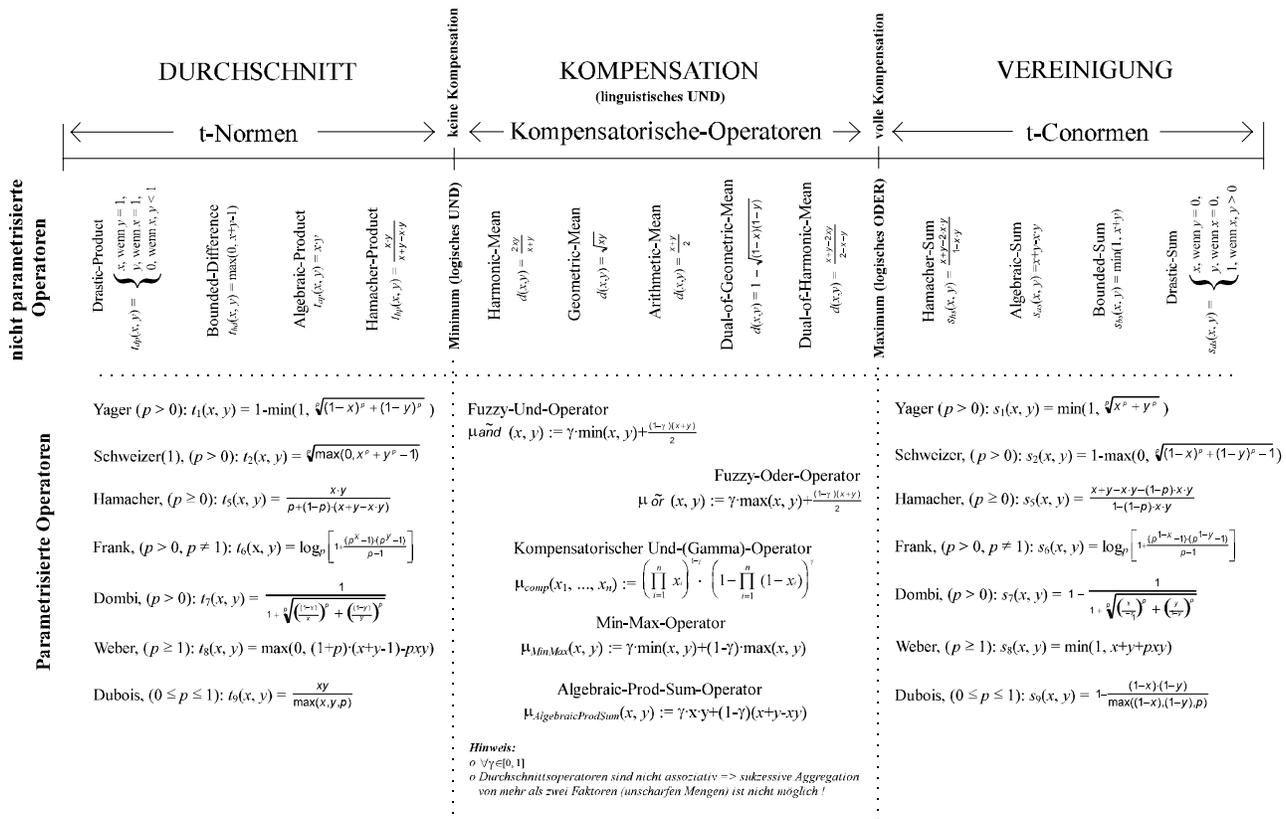
**Abbildung 7-2: Durchschnitt und Vereinigung zweier unscharfer Mengen**



Quelle: A. Mayer et al., 1993, S. 34; eigene Darstellung, 1996.

Neben den grundlegenden Operatoren wie Durchschnitt, Vereinigung und Komplement wurden in der Fuzzy-Theorie eine Vielzahl weiterer Fuzzy-Operatoren entwickelt. Die Verknüpfungsoperatoren können in *t-Normen* (z. B. Durchschnitt), *t-Conormen* (z. B. Vereinigung) und sogenannte *kompensatorische Operatoren* unterteilt werden, wobei jeweils parametrisierte und nicht-parametrisierte Formen existieren. Beispielfhaft sind in Abbildung 7-3 einige der in der Fuzzy-Theorie zur Anwendung kommenden Operatoren angeführt. Die Reihung erfolgt in Abhängigkeit vom jeweiligen Aggregationsverhalten der Operatoren in bezug auf die „Kompensation“ der eingehenden Mengen. Unter **Kompensation** versteht man im allgemeinen die „gegenseitige Aufhebung der Wirkungen einander entgegengesetzter Ursachen“. Im Fall von Bewertungsverfahren heißt das also: Das „Mehr“ eines Bewertungsfaktors gleicht das „Weniger“ eines anderen zu einem gewissen Grad aus. Die Aggregation unscharfer Mengen mit Hilfe eines kompensatorischen Operators liefert, wie Abbildung 7-3 zeigt, einen Wert, der zwischen den Ergebnissen des logischen UND (*Minimum-Operator*) und des logischen ODER (*Maximum-Operator*) liegt. Spezialfälle von Operatoren sind **Modifikatoren** (Umformer). Diese unären Operatoren ermöglichen die sprachlich interpretierbare Umformung eines einzelnen Fuzzy-Sets ("sehr", "mehr oder weniger", etc.).

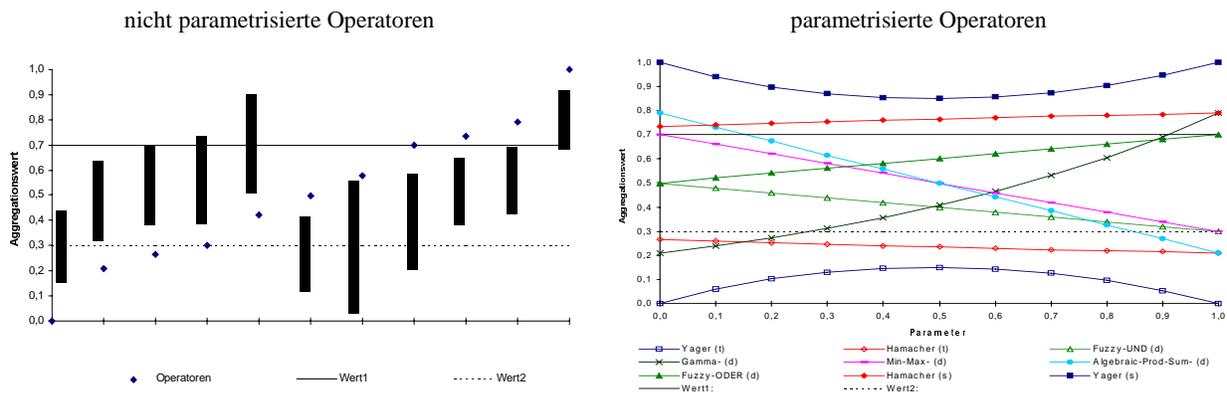
**Abbildung 7-3: Operatoren der Fuzzy-Theorie**



Quelle: A. Mayer et al., 1993, S. 37-46; eigene Darstellung, 1996.

Alle hier erwähnten Operatoren beinhalten die duale Logik als Spezialfall. Werden die Zugehörigkeitsgrade auf die Werte Null und Eins beschränkt, so haben sie genau das gleiche Verhalten wie die korrespondierenden Operatoren der klassischen Logik. Bei Zugehörigkeitsgraden zwischen Null und Eins kommen die spezifischen Eigenschaften der Fuzzy-Operatoren zur Geltung. Abbildung 7-4 zeigt am Beispiel der Verknüpfung zweier Werte deutlich, wie stark die Wahl des Operators das Aggregationsergebnis beeinflusst. Aus der Verknüpfung der Werte 0,3 und 0,7 kann je nach Wahl von Verknüpfungsregel und Parameter ein Ergebnis zwischen 0 und 1 resultieren.

Abbildung 7-4: Aggregationsergebnis zweier Werte bei Anwendung unterschiedlicher Fuzzy-Operatoren



Bedeutung der Buchstaben in der Klammer:  
 t t-Norm  
 d Kompensatorische Operator  
 s t-Conorm

Quelle: A. Mayer et al., 1993, S. 36-45.; eigene Berechnung und Darstellung, 1996.

Es stellt sich die Frage, welcher der vielen möglichen Operatoren in einer bestimmten Situation angewendet werden soll, vor allem um das in der Realität auftretende "menschliche" Aggregations- und Kompensationsverhalten möglichst gut abzubilden. Dies läßt sich, da stets das zugrundeliegende Anwendungsproblem berücksichtigt werden muß, zwar nicht pauschal beantworten, doch haben sich im

Laufe der Zeit einige mathematische und pragmatische Kriterien herauskristallisiert, die, ohne eine eindeutige Entscheidung zu liefern, bei der Auswahl berücksichtigt werden können:

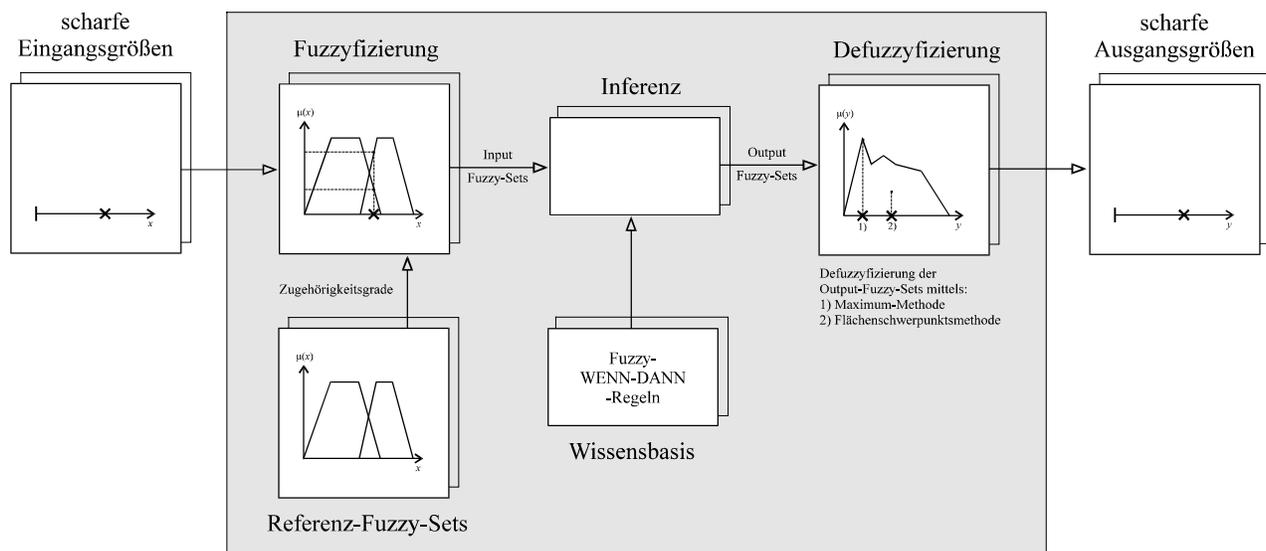
- das Skalenniveau der Eingangsdaten,
- die Empirische Relevanz,
- die Adaptionfähigkeit,
- die mathematische Attraktivität,
- das Aggregationsverhalten des Operators und
- die Fähigkeit zur Abbildung eines kompensatorischen UND.

### 7.3. Struktur eines Fuzzy Systems

Der grundsätzliche Aufbau eines Fuzzy-Systems setzt sich aus vier Teilen, nämlich dem *Fuzzyifizierungsmodul*, der *Wissensbasis*, dem *Inferenzmodul* und dem *Defuzzyifizierungsmodul*, zusammen (siehe *Abbildung 7-5*).

Im **Fuzzyifizierungsmodul** eines Fuzzy-Systems wird die linguistische Interpretation einer scharfen Größe durchgeführt, indem aus den vordefinierten Referenz-Fuzzy-Sets die den scharfen Eingangsgrößen entsprechenden Zugehörigkeitsgrade ermittelt werden. Die **Wissensbasis** enthält die Verfahrensregeln des Systems. Sie besteht aus Wenn-Dann-Regeln, wobei bei den Prämissen und der Conclusio die über den linguistischen Variablen definierten Referenz-Fuzzy-Sets verwendet werden. Die Aufgabe des **Inferenzmoduls** ist es, aus den Fakten und Regeln unter Anwendung von Fuzzy-Operationen Schlußfolgerungen zu ziehen. Als Ergebnis liefert dieser Systembestandteil Ergebnis-Fuzzy-Sets. Als **Defuzzyifizierung** bezeichnet man jenen Prozeß, der einer unscharfen Menge eine scharfe Entscheidung (z. B. scharfe Zahl) zuordnet. Grundsätzlich liefert bereits der Inferenzprozeß ein interpretierbares Ergebnis in der Form eines Ergebnis-Fuzzy-Set („unscharfe Ergebnismenge“). Wird jedoch ein Ergebnis in Form eines "scharfen" Wertes verlangt, so kann dieser mittels *Flächenschwerpunktmethode* oder *Maximum-Methode* ermittelt werden.

**Abbildung 7-5: Aufbau eines Fuzzy-Systems**



**Bewertungsparameter**

**Bewertungssystem**

**Bewertungsergebnis**

Quelle: Eigene Konzeption und Darstellung, 1996.

### 7.4. Anwendungsgebiete von Fuzzy-Methoden

Typische Anwendungsgebiete von Fuzzy-Methoden in Technik und Wirtschaft sind:

- *Unschärfe Regeltechnik* (Fuzzy-Control): Meß- und Regeltechnik (z. B. Untergrundbahn, Fahrstuhlsteuerung, Bildstabilisatoren in Videokameras, Haushaltsgeräte und -elektronik, Containerkran, Enteistungstechnik, Antiblockier-Bremssystem).
- *Unschärfe Datenanalyse* (Fuzzy-Pattern-Classification): Informationsgewinnung aus Daten (z. B. Qualitätssicherung, Alarmmanagement und Überwachung in verfahrenstechnischen Prozessen, Fehlerdiagnose, Zeichenerkennung).
- *Fuzzy-Systeme zur Planungs- und Entscheidungsunterstützung*: Leitung, Koordination und Planung der Produktion (z. B. Forschung und Entwicklung, Marketing und Verkauf, Beschaffung und Lagerhaltung, Produktionsplanung und -steuerung, Versand, Finanz- und Rechnungswesen, Personal, Planungs- und Kontrollsysteme).
- *Fuzzy-Expertensysteme*: automatische oder automationsgestützte Problemlösung auf Basis von Expertenwissen (Fuzzy-Expertensystem-Shells).
- *Wissensbasiertes Konfigurieren mit Fuzzy-Methoden*: Sicherstellen einer sinnvollen und anforderungsgerechten Zusammensetzung eines Gesamtsystems aus Einzelkomponenten (z. B. Investitionsentscheidungen, Standortwahl, Produktionsplanung).

Auch im Bereich der **Raumplanung** wurden bereits einige Anwendungen von Fuzzy-Methoden realisiert, z. B. Fuzzy-GIS Ansatz für die städtische Bodenbewertung, Fuzzy Ansatz für die EDV gestützte räumliche Zonierung, Fuzzy- Ansatz zur Definition und Ausgrenzung Landwirtschaftlicher Vorrangflächen (W. Yan et al., 1991; D. Sui, 1992; P. Mandl / I. Mandl-Mair, 1993). Eine Übersicht findet sich hierzu in S. Reinberg (1996, S. 89-101).

## 8. MÖGLICHKEITEN DER INTEGRATION VON FUZZY-KOMPONENTEN IN BEWERTUNGSVERFAHREN

Nachfolgend sollen die Möglichkeiten der Integration von Fuzzy-Methoden in Bewertungsverfahren am Beispiel der Nutzwertanalyse beurteilt werden. Hierzu werden die einzelnen Komponenten der Fuzzy-Theorie und ihre Verwendungsmöglichkeiten sowie grundsätzliche Arten der Integration von Fuzzy-Methoden mit klassischen Modellen und Methoden herausgearbeitet und schließlich konkrete Einsatzmöglichkeiten bei der Nutzwertanalyse dargestellt.

### 8.1. Potentielle Einsatzbereiche der Fuzzy-Theorie

Die Fuzzy-Logik-Theorie bildet keinen streng verknüpften Gesamtkomplex, sondern setzt sich aus mehreren, teilweise unabhängig voneinander einsetzbaren Teilen (Fuzzy-Komponenten) zusammen. Auch die Einsatzbereiche von Fuzzy-Methoden im Entscheidungsfindungs- bzw. Datenverarbeitungsprozeß lassen sich relativ klar gegeneinander abgrenzen. Potentielle Einsatzbereiche von Fuzzy-Methoden in der Raumplanung und die dabei verwendbaren Fuzzy-Komponenten können wie folgt abgegrenzt werden:

Einsatzbereiche	Verwendbare Fuzzy-Komponenten
1. <i>Datenrepräsentation</i> Verarbeitung von Unschärfen bei unsicheren Daten oder bei unsicherem Wissen, direkter Einsatz und Verarbeitung verbalen Wissens, Darstellung fließender Übergänge, Analyse von Ähnlichkeiten	Unschärfe Mengen, Zugehörigkeitsfunktionen, Linguistische Variablen,
2. <i>Datenkombination, Datenaggregation</i> "Realistische" Ergebnisbildung durch Durchschnittsbildung mit Kompensationseffekten und Vereinigungsbildung	Operatoren
3. <i>Wissensrepräsentation und Entscheidungsfindung</i> Erhaltung von Informationen im Verarbeitungsprozeß, transparente Wissensdarstellung durch verbale Regelformulierung, Zielkontrolle	Regeln, Inferenz, Linguistische Variablen
4. <i>Wissensbeschaffung</i> Anbieten von Mechanismen für die Wissensakquisition	Fuzzy-Expertensysteme
5. <i>Modellbildung</i> : Erstellung realistischer Modelle mit geringerem Aufwand und unter Berücksichtigung verschiedener Formen von Unsicherheit	Alle Komponenten

Quelle: S. Reinberg, 1996, S. 110 f.

## 8.2. Anwendungsformen von Fuzzy-Methoden

Grundsätzlich können zwei Anwendungsformen der Integration von Fuzzy-Methoden in der Raumplanung unterschieden werden:

- *Algorithmischer Ansatz:*  
Die algorithmische Anwendungsform besteht darin, klassische Modelle und Methoden um Fuzzy-Methoden zu ergänzen. Dabei werden bei bestehenden klassischen numerischen (also scharfen) Verfahren nur einzelne Bestandteile durch Fuzzy-Methoden ergänzt oder ersetzt. Eine Voraussetzung ist hierfür, die unscharfen Modellkomponenten so zu transformieren, daß sie den klassischen Methoden zugänglich sind (z. B. durch Fuzzifizierung und Defuzzifizierung). Der Vorteil dieses Ansatzes ist, daß bewährte und gegebenenfalls mit großem Aufwand erstellte Verfahren weiterverwendet werden können. Anwendung findet der algorithmische Ansatz daher vor allem bei großen, komplexen, mathematisch und methodisch aufwendigen Modellen und Verfahren.
- *Wissensbasierter Ansatz:*  
Der *wissensbasierte* Ansatz besteht darin, ineffiziente oder inhaltlich problematische Modelle bzw. Methoden zur Gänze durch ein Fuzzy-System zu ersetzen oder bei Fehlen entsprechender Verfahren überhaupt erst den Einsatz computergestützter Verfahren zu ermöglichen. Ein mathematisches Modell oder ein Algorithmus wird dabei durch ein System von Regeln und Fakten, in denen verbales Wissen dargestellt werden kann, ersetzt. Mit einem Fuzzy-System kann menschliches Wissen und Entscheidungsverhalten im Computer formal abgebildet werden und die Wissensakquisition, Wissensdokumentation, inhaltserhaltende Wissensverarbeitung und Übersetzung numerischer Information in linguistische und umgekehrt unterstützt werden. Besondere Eignung haben wissensbasierte Ansätze vor allem für kleine schlecht-strukturierte Entscheidungsprobleme mit unscharfen Entscheidungskriterien und Zielsetzungen.

## 8.3. Fuzzy-Einsatzmöglichkeiten in der Nutzwertanalyse

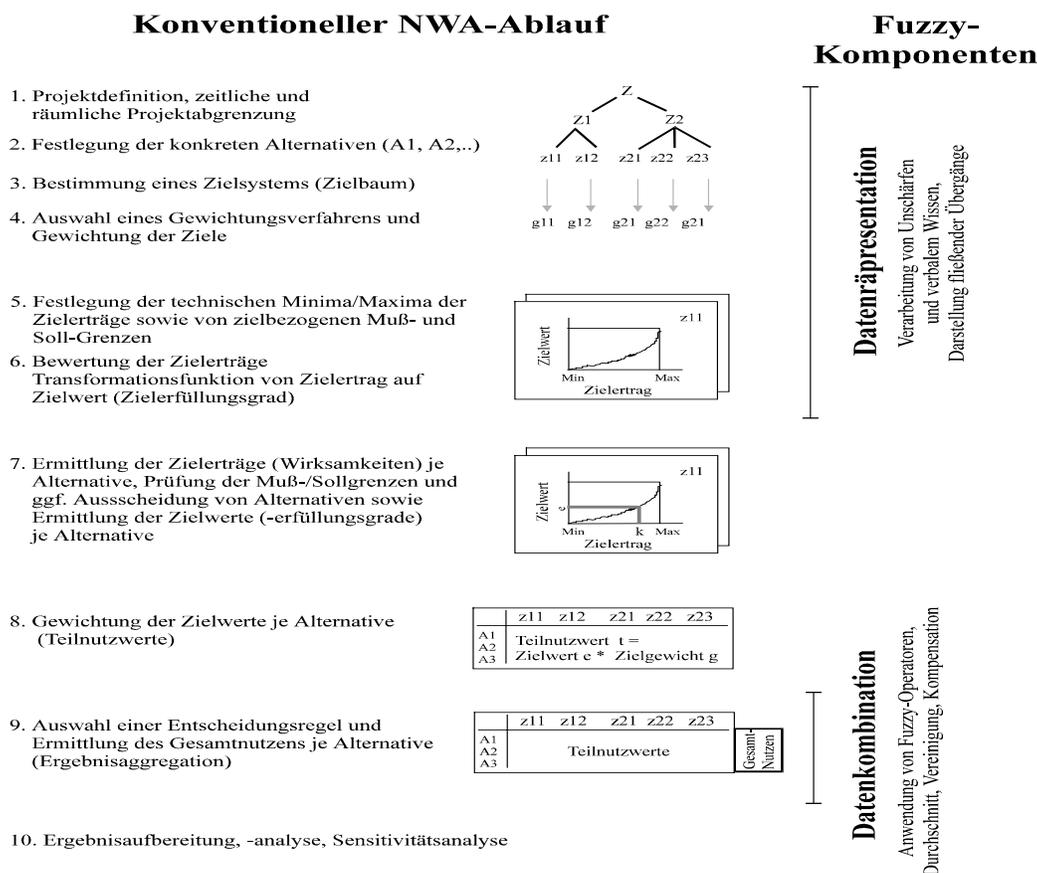
Die Nutzwertanalyse (siehe z. B. G. Strasser, 1973; A. Bechmann, 1978; J. Bartnick, 1983; B. Rürup, K. Hansmeyer, 1984) ist ein Mehrzielentscheidungsverfahren zur Bewertung von Handlungsalternativen. Die Alternativen werden im Hinblick auf mehrere - verschiedenartige und unterschiedlich wichtige - Zielsetzungen bewertet und miteinander verglichen. Bei der Bewertung werden unterschiedliche Alternativen anhand bestimmter Bewertungskriterien miteinander verglichen. Die unterschiedlichen, oft nicht vergleichbaren Bewertungsaspekte werfen die Frage auf, ob und wie diese gegeneinander zu verrechnen sind (Substituierbarkeit), welche Bedeutung (Gewicht) die einzelnen Teilaspekte im Hinblick auf ein Gesamtziel haben und wie zum Zwecke der Ermittlung der Gesamtbewertung einer Alternative eine Wertsynthese aus Teilurteilen zu errechnen ist (vgl. J. Meise, A. Volwahn, 1980, S. 7). In diesem Problemfeld können die Methoden der Fuzzy-Theorie einen wertvollen Beitrag leisten.

Wenn man vom *algorithmischen Ansatz* der Anwendung von Fuzzy-Methoden ausgeht, so können Fuzzy-Methoden in diesem Zusammenhang in zwei Bereichen der Nutzwertanalyse Einsatz finden (siehe Abbildung 3-1):

- **Datenrepräsentation**  
Die Zielgewichtung und die Transformation der Ziele in Nutzwerte kann um Möglichkeiten der Verarbeitung von Unschärfen und der linguistischen Darstellung erweitert werden. In bezug auf die Darstellung fließender Übergänge, die beim Fuzzy-Ansatz durch unscharfe Mengen und Zugehörigkeitsfunktionen operationalisiert werden, ist zu beachten, daß diese bei der Bewertung der Zielertäge auch bereits beim konventionellen Ansatz durch Transformationsfunktionen konzeptionell berücksichtigt werden.
- **Datenkombination**  
Bei der Ermittlung des Gesamtnutzens (Wertsynthese) werden die Teilnutzwerte in der Regel durch Addition zusammengefaßt. Mit dem Einsatz von Fuzzy-Operatoren können hier verschiedene Aspekte der Kompensation operationell erfaßt werden (vgl. Abbildung 2-3). Insbesondere kann damit durch Anwendung unterschiedlicher Operatoren und Parametrisierungen auf einfache Weise eine Sensitivitätsanalyse in bezug auf die Ergebnisaggregation erfolgen.

Beim *wissensbasierten Ansatz* wird versucht, das bestehende Verfahren der Nutzwertanalyse zur Gänze durch ein Fuzzy-Regelsystem zu ersetzen. Die Erstellung von Regeln ist jedoch insbesondere bei raumplanungsrelevanten Anwendungen von Entscheidungssystemen problematisch, da es sich meist um die simultane Bewertung mehrerer Kriterienausprägungen einer Alternative handelt. Auch wenn bekannt ist, wie wichtig das einzelne Kriterium für den Entscheidungsprozeß ist und auch ob es sich positiv oder negativ auf den Entscheidungsprozeß auswirkt, eine explizite Definition der Regeln, wie eine Gesamtbeurteilung zustande kommt, ist in den meisten Fällen schwer - wenn nicht unmöglich. Das Problem dabei liegt darin, daß es ab einer gewissen Anzahl von Beurteilungskriterien praktisch unmöglich ist, alle möglichen Kriterienkombinationen anzuführen und gegeneinander zu gewichten. Meist wird daher in den existierenden Anwendungen (W. Yan et al., 1991; D. Sui, 1992; P. Mandl / I. Mandl-Mair, 1993; W. Slany, 1994) nicht nach einem mehr oder weniger komplexen Regelsystem, sondern nur nach einem einfachen Overlayprozeß vorgegangen. Es werden einzelne voneinander unabhängige Regeln erstellt und der jeweilige Erfüllungsgrad ermittelt. Die mittels Zugehörigkeitsfunktionen erstellten "Nutzwerte" bezüglich der einzelnen Kriterienausprägungen werden dann für jede Alternative unter dem Einsatz von Gewichten aggregiert und solcherart ein "Gesamtnutzwert" ermittelt. Es wird also faktisch nach einer einzelnen Regel ausgewertet, welche lautet: *"Je besser die Einzelkriterien die Einzelziele erfüllen, desto besser erfüllt die ganze Alternative das Gesamtziel."*

Abbildung 8-1: Anwendung von Fuzzy-Komponenten in der Nutzwertanalyse (NWA)



Quelle: G. Rüsç, 1993; eigene Darstellung, 1996.

### 8.4. Software-technische Umsetzung

Zur Realisierung von Fuzzy-Modellen können einerseits verschiedene Fuzzy-Tools eingesetzt werden. Dabei handelt es sich um Shells und Entwicklungsumgebungen, die es dem Benutzer ermöglichen, Fuzzy-Anwendungen zu erstellen, ohne sich mit der konkreten mathematischen Umsetzung zu beschäftigen. Fuzzy-Tools unterstützen die Definition und Eingabe von Fuzzy-Sets, Zugehörigkeitsfunktionen, linguistischen Variablen, Regeln, Sicherheitsfaktoren und Operatoren sowie ihre Umsetzung zu einem anwendungsreifen Modell.

Wichtig für die Vereinfachung der Anwendung von Fuzzy-Elementen in algorithmischen Ansätzen ist die vorhandene Integration von Fuzzy-Tools in die gängigen Programme und Programmpakete. Verschiedene Fuzzy-Komponenten oder fertige Fuzzy-Applikationen werden hier bereits in fast allen gängigen Mathematik- und Statistikprogrammen (z.B. MATLAB, MATHEMATICA, GAUSS), Programmiersprachen (z.B. C++) oder GIS Programmen (z.B. IDRISI) angeboten. Bei der im nachfolgenden Anwendungsbeispiel verwendeten GIS-Software IDRISI for WINDOWS 1.0 wird beispielsweise die Fuzzyifizierung von Kriterienmaps durch ein implementiertes Fuzzy-Modul unterstützt.

Der wesentliche Punkt für die Möglichkeit der Integration von Fuzzy-Ansätzen in die Methoden und Modelle der Raumplanung ist jedoch, daß einzelne Fuzzy-Komponenten auch mit Hilfe konventioneller Software rasch und auf einfache Weise implementiert werden können. So ist es möglich, unterschiedliche Funktionsverläufe von Zugehörigkeitsfunktionen und verschiedene Operatoren in einem Tabellenkalkulationsprogramm (z. B. EXCEL) zu erstellen und mit ihnen gewisse Berechnungen durchzuführen. Ausgenommen ist davon die Erstellung und Auswertung von Regelsystemen, die mit einfachen Softwarewerkzeugen kaum oder nur mit erheblichem Aufwand möglich erscheint und nur durch den Einsatz von Fuzzy-Shells relativ leicht erfolgen kann.

## 9. DISKRETE KLASSIFIZIERUNG VERSUS KONTINUIERLICHE TRANSFORMATION AM BEISPIEL DER BAULANDBEWERTUNG

Das nachfolgende Anwendungsbeispiel soll die Fähigkeiten der Theorie der Unschärfe auf dem Gebiet der Datenrepräsentation, nämlich die Darstellung fließender Übergänge, veranschaulichen.

Anhand der Bewertung der Baulandeignung (Wohnbebauung) bestimmter Flächen in der Gemeinde Kuchl / Salzburg soll der Unterschied von (kontinuierlicher) fuzzy-basierter und (diskret klassifizierender) konventioneller Bewertung aufgezeigt werden. Konkret soll mit dem Bewertungsmodell aus 10 verfügbaren Grundstücken (Größe 2-4 ha) das für die Wohnbebauung (verdichteter Flachbau) am besten geeignete Grundstück ermittelt werden. Die praktische Umsetzung der Bewertungsmodelle erfolgte mit dem rasterbasierten GIS-Softwareprodukt IDRISI 1.0 for Windows auf Basis von Daten des SRF (1994).

Durch den kontinuierlichen Verlauf der Nutzenfunktion, definiert als Zugehörigkeitsfunktion der Menge der "Geeigneten" über einem bestimmten Beurteilungskriterium, sollen im Vergleich zu stufenweise bewertenden Modellen "realitätsnähere" Ergebnisse erzielt werden. Einerseits entsprechen fließende Übergänge viel eher dem menschlichen Entscheidungs- und Bewertungsverhalten, andererseits wird auch die Problematik der exakten Abgrenzung (z. B. Einzugsbereiche) durch die Modellierung eines fließenden Überganges von "GUT" zu "SCHLECHT" erheblich gemindert.

In konventionellen Bewertungsansätzen werden Kriterieneignungswerte (Zielerfüllungsgrade) meist mittels einfacher Klassifizierungsalgorithmen erzeugt, wobei Kriterienausprägungswerte (Zielerträge wie z. B. Entfernungsangaben) zu bewertungspezifischen Klassen transformiert werden. Beispielsweise wird eine Entfernung von 0 bis 1000 Meter zum nächsten Einkaufszentrum als "sehr nahe", von 1001 bis 1500 Meter als "nahe" bezeichnet. Ein Problem ergibt sich im Fall, daß beispielsweise zwei Punkte in einer Entfernung von 999 bzw. 1001 Meter bewertet werden sollen. Die erwähnte Entscheidungsroutine wird als Ergebnis zwei unterschiedliche Klassen liefern, obwohl die beiden Punkte nach menschlichem Ermessen praktisch gleich zu bewerten wären. Diese „unrealistische“, grobe Vereinfachung der Realität tritt bei der Anwendung **kontinuierlicher Transformation** der Kriterienausprägungswerte in Kriterieneignungswerte nicht auf, da der in der Realität vorhandene kontinuierliche Übergang zwischen Klassen (z. B. „geeignet“, „ungeeignet“) dargestellt werden kann. Die obengenannten Punkte (999 bzw. 1001 m entfernt) würden also je nach Verlauf der Zugehörigkeitsfunktionen graduell beiden Klassen angehören (vgl. D. Sui, 1992, S. 108 f.).

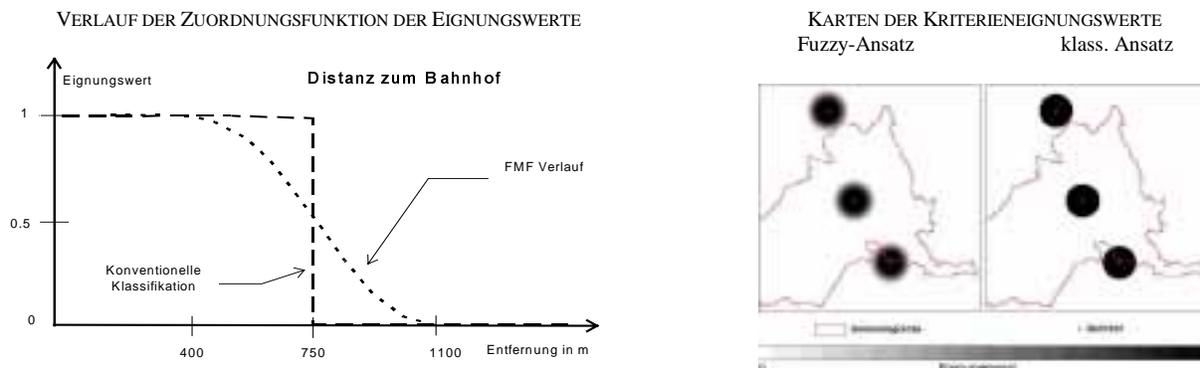
Bei der Bewertung mit Hilfe eines **konventionellen Modells** (diskrete Klassifizierung) kann eine Fläche eine Voraussetzung nur entweder erfüllen (Eignungswert=1) oder nicht erfüllen (Eignungswert=0). Im **Fuzzy-Ansatz** kann hingegen auch mit teilweisen Erfüllungsgraden gerechnet werden. Mit Hilfe von **Zugehörigkeitsfunktionen**, die in diesem Beispiel den Nutzenfunktionen in der klassischen Nutzwertanalyse entsprechen, wird für jede Fläche je nach Ausprägung des betreffenden Beurteilungskriteriums (Zielertrag) ein "Eignungswert" (Zielwert) ermittelt, der angibt in welchem Ausmaß die Fläche aufgrund dieser einzelnen Merkmalsausprägung für die Bebauung geeignet ist. Die beiden

Bewertungsmodelle unterscheiden sich also lediglich in der Art der Klassifizierung, alle anderen Elemente wie Bewertungskriterien, Verschneidung, Gewichtung und Ergebnisbildung sind exakt gleich.

Die Vorgangsweise bei der Behandlung des vorliegenden Anwendungsbeispiels kann als "**flächenbezogene Nutzwertanalyse**" bezeichnet werden, die als Endergebnis die Standortgunst (Nutzwert) jeder Fläche für eine bestimmte Nutzung ermittelt. Für jede Fläche (jeden Rasterpunkt) wird ein Wert für die linguistische Variable "Eignung" über einem x-dimensionalen Raum (Lage, Verfügbarkeit, etc.) ermittelt.

Abbildung 9-2 stellt beispielhaft für den Eignungswert in Abhängigkeit von der Distanz zum nächsten Bahnhof den Unterschied der beiden Bewertungsansätze grafisch dar. Während im kontinuierlichen Ansatz der Kriterieneignungswert vom Zentrum (in diesem Fall dem Bahnhof), nach einer kurzen Strecke mit dem Wert 1 kontinuierlich bis 0 fällt, ist der Übergang zwischen Maximum und Minimum im diskret klassifizierten Ansatz abrupt.

**Abbildung 9-2: Vergleich der kontinuierlichen Transformation mit der diskreten Klassifizierung von Bewertungskriterien in Eignungswerte für die Wohnbebauung und Gegenüberstellung einer Karte der mit fuzzy-basiertem Ansatz erstellten Kriterieneignungswerte und einer mittels konventionellem Ansatz errechneten, am Beispiel der Eignung für die Wohnbebauung in Abhängigkeit von der Entfernung zum Bahnhof**



Anmerkung: FMF = Fuzzy-Membership-Funktion (Zugehörigkeitsfunktion)

Quelle: Eigene Überlegung und Darstellung, 1996.

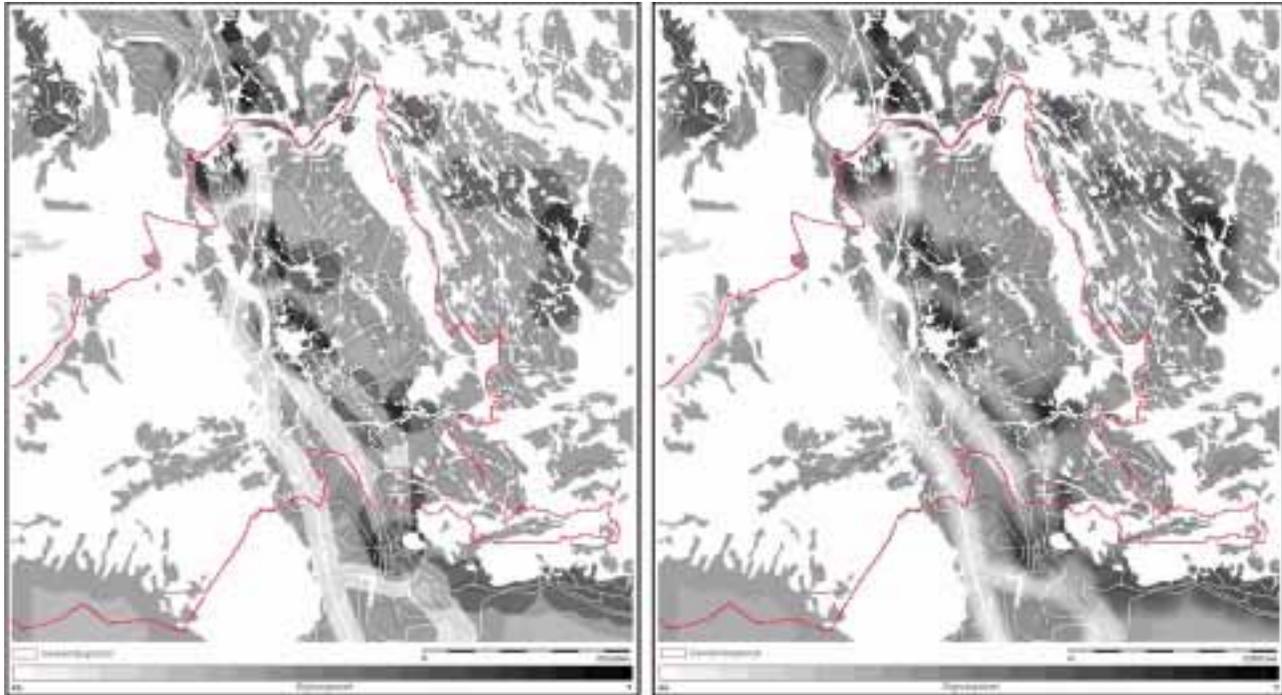
Ebenso wird für auch mit den anderen Kriterien verfahren. Für jede Fläche wird ermittelt, zu welchem Grad sie das Kriterium erfüllt. Folgende **Bewertungskriterien** wurden ausgewählt und gegeneinander gewichtet:

- Entfernungabhängiger Einfluß von Störfaktoren ( $g=0,27$ ),
- Distanz zum Bahnhof ( $g=0,04$ ),
- Distanz zur nächsten Grünfläche ( $g=0,08$ ),
- Distanz zur nächsten Verkehrsfläche ( $g=0,07$ ),
- Distanz zur nächsten Nahversorgungseinrichtung ( $g=0,19$ ),
- Distanz zur nächsten Bushaltestelle ( $g=0,21$ ),
- Hangneigung ( $g=0,03$ ),
- Verfügbarkeit des Bodens ( $g=0,11$ ),
- Bebaubarkeit (Ausschließungskriterium d.h. Bebaubarkeit=0 => Gesamteignung=0)

Die Zielerträge aller Kriterien außer der Verfügbarkeit der Fläche und der Bebaubarkeit werden im Fuzzy-Ansatz mit Hilfe kontinuierlicher Zugehörigkeitsfunktionen (Nutzenfunktionen) in Zielwerte umskaliert. Im konventionellen Ansatz werden den Zielerträgen die Zielwerte 0 oder 1 zugeordnet (siehe *Abbildung 9-2*).

Die resultierenden Kriterieneignungswerte werden anschließend in einem Overlayprozeß verschneidet und eine **Gesamteignung** (Gesamtnutzwert) der Fläche ermittelt. Die aus den beiden Ansätzen resultierenden Gesamteignungswerte, die durch eine gewichtete Aggregation (Addition) der Kriterieneignungswerte ermittelt werden, unterscheiden sich schon rein optisch sehr stark voneinander (*Abbildung 9-3*).

**Abbildung 9-3:** Gegenüberstellung der Karten des aus diskret klassifizierten Kriterieneignungswerten aggregierten Gesamteignungswertes und des aus kontinuierlich bewerteten Kriterieneignungswerten aggregierten Gesamteignungswertes für die Wohnbebauung in Kuchl (SZBG.), inklusive Gemeindegrenzen.

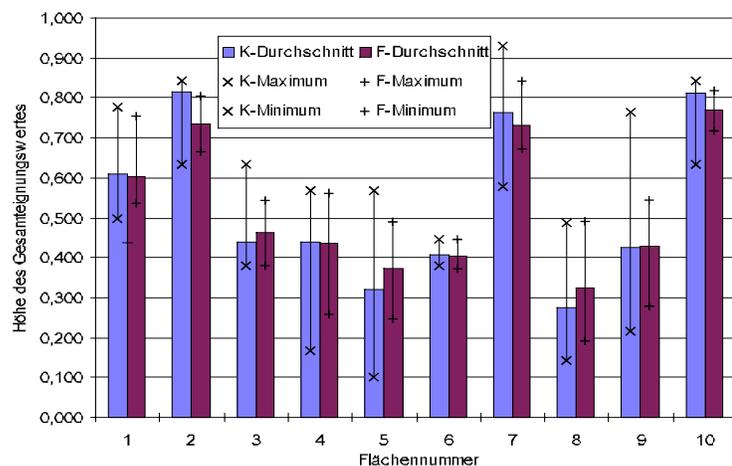
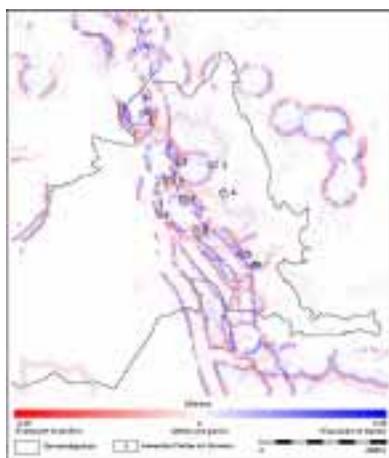


Quelle: Ausgangsdaten SRF, 1995; eigene Berechnung mit IDRISI-Modul MCE; eigene Darstellung mit IDRISI, 1996.

Während im Falle der diskreten (scharfen) Klassifizierung der Bewertungskriterien die Eignungswerte sich teilweise von einem Bildpunkt zum benachbarten stark verändern, sind die Übergänge im kontinuierlichen Ansatz fließend, was vermutlich eher dem menschlichen Entscheidungsverhalten entspricht. Zur Verdeutlichung und Herausstellung der Abweichungen der beiden Ergebnisse voneinander wird im Folgenden eine Karte der Differenz der Eignungswerte aus dem konventionellen und dem fuzzy-basierten Ansatz für jeden Bildpunkt sowie eine grafische Darstellung der Gesamteignungswerte der zu bewertenden Flächen dargeboten (Abbildung 9-4).

**Abbildung 9-4:** Karte der Differenz der fuzzy-basiert ermittelten und der scharf-modellierten Gesamteignungswerte für die Wohnbebauung, inklusive zur näheren Bewertung stehender Flächen und der Gemeindegrenzen von Kuchl (Salzburg).

Gegenüberstellung der Gesamteignungswerte der zu bewertenden Flächen (konventioneller Ansatz (K) und fuzzy-basierter Ansatz (F) bezüglich der Eignung für die Wohnbebauung - Durchschnittliche Gesamteignungswerte, Minima und Maxima.



Quelle: Ausgangsdaten SRF, 1995; eigene Berechnung; eigene kartographische Darstellung mit IDRISI, 1996.

Die **Rangfolge** der Flächen nach ihren Gesamteignungswerten ist in den beiden Ansätzen teilweise unterschiedlich. Dies ist von besonderem Interesse, da vor allem die Änderung der erstgereihten Fläche

(beim konventionellen Ansatz Fläche 2; beim fuzzy-basierten Ansatz Fläche 10), unter der Annahme, daß ebendiese für die Bebauung ausgewählt wird, zu einem völlig anderen Endergebnis führt.

In *Abbildung 9-4* zeigt sich, daß Abweichungen vor allem in den Randzonen der Einzugsbereiche vorhanden sind. Dies ist aus *Abbildung 9-2* leicht zu erklären. In den Übergangsbereichen schneiden sich kontinuierliche und diskret klassifizierte Funktionsverläufe, wobei jeweils zuerst der eine Wert und dann der andere höher ist. Die abrupten Übergänge der konventionell modellierten Karte der Gesamteignungswerte weichen also von den fließenden Veränderungen der Eignungswerte im Fuzzy-Ansatz ab. Die Abbildung läßt vermuten, daß diese Unterschiede einen starken Einfluß auf die Gesamtergebnisse der zur Auswahl stehenden Flächen ausüben, liegen doch die meisten Flächen in Bereichen großer Differenzen.

Die **Durchschnittswerte** der Bildpunkte der bewerteten Flächen sind in etwa der Hälfte der Fälle aus beiden Ansätzen sehr ähnlich. Dies mag als Indikator für eine gute Vergleichbarkeit der Funktionsverläufe der Eignungswertkurven angesehen werden. Andererseits muß auf die Problematik der Abweichung der Einzelwerte vom Durchschnittswert hingewiesen werden. In *Abbildung 9-4* fällt nämlich auf, daß die Abweichung von Minimum und Maximum vom Durchschnittswert der Flächen beim konventionellen Ansatz bis auf einen Fall immer, und meist sogar erheblich größer ist als jene beim Fuzzy-Ansatz. Eine größere Streuung der Werte bedeutet aber natürlich auch eine starke Abweichung der Eignungswerte der einzelnen Teilflächen vom Gesamteignungswert und somit die Verminderung der Aussagekraft des Ergebnisses „Durchschnittlicher Gesamteignungswert der Fläche“. Als Beispiel sei hier die Fläche Nummer 9 angeführt, deren Eignungswert beim konventionellen Ansatz zwischen ca. 0.2, also "geringe Eignung", und ca. 0.8, also "hohe Eignung" liegt. Der Durchschnittswert von ca. 0.4 als einzige Aussage wird seinem Stellenwert als Informationslieferant über die Flächeneignung nur sehr bedingt gerecht. Wesentlich homogener hingegen sind die Teilergebnisse, die das fuzzy-basierte Modell für diese Fläche liefert. Sie liegen lediglich zwischen 0.5 und 0.3 und liefern in der Aggregation ebenfalls ein Endergebnis von 0.4, das hier aber einen wesentlich höheren Grad an Information über die Teilflächen beinhaltet.

Weiters zeigt sich, daß die Lage der Durchschnittswerte zwischen Minimum und Maximum im fuzzy-basierten Modell relativ zentral ist, während beim konventionellen Ansatz die Höhe dieses Wertes teilweise sehr nahe an einem dieser Extrema liegt. Dieses Faktum läßt auf die Existenz von "Ausreißern" in den Eignungswerten der Teilflächen schließen, welche sich im Allgemeinen auf eine effiziente Kennwertbildung mittels Aggregation (z. B. Durchschnitt) negativ auswirken.

**Zusammenfassend** kann also gesagt werden, daß das Endergebnis aus dem fuzzy-basierten Bewertungsansatz jenem aus dem konventionellen Ansatz aufgrund der höheren Aussagekraft des Durchschnittswertes (geringere Spannweite, geringere Standardabweichung) und der homogeneren Bewertung der Einzelpunkte der Flächen, welche dem menschlichen Entscheidungsverhalten, dem starke Bewertungssprünge innerhalb benachbarter Teilflächen eher fremd sind, entspricht, überlegen erscheint. Welches der beiden Ergebnisse in der Realität tatsächlich das "bessere", weil realitätsnähere, ist, kann in dieser Arbeit allerdings nicht beurteilt werden.

## 10. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Ziel dieser Arbeit war, potentielle Anwendungsmöglichkeit von Fuzzy-Methoden in Bewertungsverfahren im Bereich der Raumplanung aufzuzeigen. Eine Verbesserung der Methoden der Raumplanung soll dahingehend erreicht werden, daß inhärente "Unschärfen" der Realität in einem kalkulatorischen Entscheidungsprozeß „rechenbar“ oder in mathematischen Modellen abbildbar gemacht werden.

Der Einsatz von Fuzzy-Methoden im Bereich der Raumplanung bzw. in Bewertungsverfahren kann generell als zweckmäßig und erfolgversprechend beurteilt werden: Entscheidungskriterien und -regeln liegen vielfach *nur in verbaler Form* vor oder sind bezüglich ihrer *Ausprägungen nicht klar definierbar* (nah, fern, gut, schlecht, etc.). Beide Aspekte können in Fuzzy-Modellen im Gegensatz zu klassischen Modellen direkt berücksichtigt werden. Fuzzy-Methoden ermöglichen es, *fließende Übergänge* (Graubereiche) in den Entscheidungsprozeß einfließen zu lassen. Unschärfe Mengen als Ergebnis eines Entscheidungsprozesses bieten mehr Information als ein scharfe Zahl. Zudem kann mit den Fuzzy-Operatoren der Aspekt der Kompensation bei der Ergebnisaggregation operationell erfaßt werden.

Als Problemfelder, die erst nach entsprechenden Anwendungserfahrungen in ihrer Bedeutung eingeschätzt werden können, sind neben der allgemeinen Problematik des Einsatzes von computergestützten Verfahren und Modellen vor allem die *Vielzahl an Operatoren*, bei deren Anwendung eine unüberschaubare Anzahl unterschiedlicher Ergebnisse resultieren kann mit der Gefahr der willkürlichen Auswahl eines gewünschten Ergebnisses, die empirisch meist nicht abgesicherte, *willkürliche Festlegung von Zugehörigkeitsfunktionen* und der erhöhte *Informationsverarbeitungsaufwand* zu nennen.

Pragmatisch betrachtet bietet vor allem die Möglichkeit der *Integration einzelner Fuzzy-Komponenten* (unscharfe Mengen, Zugehörigkeitsfunktionen, linguistische Variablen, Fuzzy-Operatoren, Regeln) in bestehende Verfahren konkrete Ansätze, die auch in methodischer und software-technischer Hinsicht auf relativ einfache Weise praktisch umgesetzt werden können. Demgegenüber ist der Einsatz *wissensbasierter Fuzzy-Systeme*, mit denen bestehende Verfahren zur Gänze durch ein entsprechendes Fuzzy-Regelsystem ersetzt werden sollen, in technischer Hinsicht zwar mit den bestehenden Fuzzy-Tools durchaus machbar, in inhaltlicher Hinsicht jedoch mit erheblichen Problemen verbunden. Das Problem ist, daß im Bereich der Raumplanung vermutlich kaum eine essentielle Fragestellung vollständig durch ein überschaubares Regelsystem beschrieben werden kann. Bemühungen zum Aufbau von wissensbasierten Fuzzy-Systemen tragen jedoch dazu bei, sich mit den zugrundeliegenden Regelsystemen und Verfahren im Planungs- und Entscheidungsprozeß auseinanderzusetzen, und sind Anlaß für eine Reflexion der Zielsetzungen und Prüfstein für die Objektivierbarkeit und Nachvollziehbarkeit der verwendeten Entscheidungs- und Bewertungsverfahren.

## QUELLENVERZEICHNIS

- Bartnick, J., Bewertung und Kompromißbildung: Eine Weiterentwicklung der Nutzwertanalyse mit Beispielen aus der Raumplanung, Band 59 der Schriften zur öffentlichen Verwaltung und öffentlichen Wirtschaft, Hrsg. v. P. Eichhorn, Hrsg. P. Friedrich, Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden, 1983
- Bechmann, A., Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung, 1. Aufl., Haupt, Bern, 1978.
- Eastman, J. R., Idrisi for Windows User's Guide, Idris Production Clark University, Worchester (Massachusetts), 1995, pp. 8-1 - 8-30
- Eastman, J. R., Kyem, P.A., Toledano, J., Weigen, J., GIS and DECISION MAKING, Explorations in Geographic Information Systems Technology, United Nations Institute for Training and Research, Genf, 1995
- Fuzzy-Demonstrations-Zentrum (FDZ) Dortmund, <http://ls10-www.informatik.uni-dortmund.de/ICD/Texte/PR-FDZ>, 05.12.1995, Dortmund, 1995
- Fuzzy Logic Lab (FLL) Linz-Hagenberg, Welcome to the FLLL-Info Base, <http://flll.uni-linz.ac.at>, 01.12.95, Linz-Hagenberg, 1995
- Kantrowitz, M., Horstkotte, E., Joslyn, C., Answers to Questions about Fuzzy Logic and Fuzzy Expert Systems, <http://www.cs.cmu.edu/Web/Groups/AI/html/faqs/ai/fuzzy/part1/faq.html>, 20.02.1996, USA, 1996
- Kosko, B., Fuzzy Thinking; The new science of Fuzzy-Logic, Flamingo, London, 1994
- Mandl, P., Mandl-Mair, I., Endbericht zum Projekt: Definition und Ausgrenzung Landwirtschaftlicher Vorrangflächen im Kärntner Zentralraum, Studie im Rahmen des Kärntner Geographischen Informationssystems (KAGIS), Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt, 1993
- Mayer, A., Mechler, B., Schindwein, A., Wolke, R., Fuzzy Logic: Einführung und Leitfaden zur praktischen Anwendung, Mit Fuzzy-Shell in C++, Addison-Wesley Publishing Company, Bonn, 1993
- Meise, J., Volwahren, A., Stadt- und Regionalplanung, ein Methodenhandbuch, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 1980
- Reinberg, S., Anwendungsmöglichkeiten von Fuzzy-Logic-Methoden in der Raumplanung, Diplomarbeit am Institut für Finanzwissenschaft und Infrastrukturpolitik der Technischen Universität Wien, Wien, 1996
- Rürup, B., Hansmeyer, K.-H., Staatswirtschaftliche Planungsinstrumente, 7. Kapitel: Nutzwertanalyse, S. 132-140, wisu-texte, 3. Aufl., Werner, Düsseldorf, 1984.
- Slany, W., Fuzzy Scheduling, Dissertation an der Technisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Technischen Universität Wien, Wien, 1994
- Spies, M., Unsicheres Wissen: Wahrscheinlichkeit, Fuzzy Logik, neuronale Netze und menschliches Denken, Spektrum Akademischer Verlag GmbH., Düsseldorf, 1993
- Institut für Stadt und Regionalforschung (SRF) der Technischen Universität Wien, Digitale Geografische Daten des Bundeslandes Salzburg, erworben von der Salzburger Landesregierung zum Zwecke der Lehre und Forschung, Stand 1994
- Strasser, G., Nutzwertanalyse, in: Methoden der empirischen Regionalforschung, 1. Teil, Veröffentlichungen der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Band 87, Jänecke, Hannover, 1973.
- Sui, D. Z., "A Fuzzy GIS Modeling Approach for Urban Land Evaluation", in Computers, Environment and Urban Systems, Volume 16, Oxford, 1992, S. 101-115.
- Yan, W., Shimizu, E., Nakamura, H., "A Knowledge-based Computer System for Zoning", in Computers, Environment and Urban Systems, Volume 15, Oxford, 1991, S.125-140.

Zimmermann, H. J., (Hrsg.), Angstenberger, J., Lieven, K., Weber, R., Fuzzy Technologien: Prinzipien, Werkzeuge, Potentiale, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1993