

Arbeitsbericht Nr. 8

**Das Konzept der unscharfen Mengen unter
besonderer Berücksichtigung ihrer
linguistischen Interpretation
- eine Lösung für unscharfe Probleme? -**

von

Dr. Stephan Zelewski

2. Auflage des Arbeitsberichts 5/1986

Köln 1986

Alle Rechte vorbehalten.

Abstract

Das Konzept der unscharfen Mengen wird des öfteren für die Lösung von Problemen empfohlen, deren informativische Basis infolge von Ungenauigkeiten oder Unsicherheiten nicht scharf formuliert werden kann. Es wird ein kurzer Überblick über wesentliche betriebswirtschaftliche Anwendungsmöglichkeiten dieses Konzepts gewährt. Besonders herausgestellt wird die linguistische Interpretation von unscharfen Mengen, die solche Mengen mit unscharfen, natürlichsprachlichen Begriffen assoziiert. Auf diese Weise lassen sich natürlichsprachliche, unpräzise Problembeschreibungen in den exakten Kalkül der unscharfen Mengen transformieren. Hauptanwendungsgebiete derart interpretierter unscharfer Mengen werden vorgestellt. Besondere Aufmerksamkeit erfahren die Schwierigkeiten, die aus der Verknüpfung unscharfer Problemformulierungen mit einem exakten Mengen-Kalkül resultieren können.

Inhaltsübersicht

	Seite
1 Einführung in das Konzept der unscharfen Mengen	1
2 Überblick über betriebswirtschaftliche Anwendungen des Konzepts unscharfer Mengen	3
3 Die linguistische Interpretation von unscharfen Mengen	8
3.1 Das Konzept der linguistischen Interpretation	8
3.2 Anwendungsmöglichkeiten im Hinblick auf unscharfe Probleme	13
4 Sprachorientierte Anwendungsbereiche des Konzepts unscharfer Mengen	17
5 Schwierigkeiten bei der Anwendung unscharfer Mengen zur Lösung unscharfer Probleme	22
 Literaturverzeichnis	 31

1 Einführung in das Konzept der unscharfen Mengen

Das Konzept der unscharfen Mengen ("fuzzy sets") wurde in der Mitte der sechziger und siebziger Jahre maßgeblich von Zadeh als eine Erweiterung des Konzepts konventioneller ("scharfer") Mengen entwickelt¹⁾. Da hier nur Interesse an seinen betriebswirtschaftlichen Anwendungsmöglichkeiten zur Lösung unscharfer Probleme besteht, wird das Konzept unscharfer Mengen nur in seinen wichtigsten Grundlagen formal skizziert²⁾.

$X_k = \{x_i | P(x_i)\}$ sei eine Menge im konventionellen Sinn mit den paarweise verschiedenen, ungeordneten Elementen x_i , die dadurch gekennzeichnet sind, daß sie das Prädikat $P(x_i)$ - z.B. eine bestimmte Eigenschaft - erfüllen. Ist X_0 eine Obermenge zur Menge X_k , läßt sich als Zugehörigkeitsfunktion z_k diejenige Abbildung definieren, die für jedes Element x_i aus der Menge X_0 festlegt, ob es ebenso ein Element aus der Menge X_k darstellt:

$$z_k : X_0 \rightarrow \{0;1\}$$

$$x_i \rightarrow z(x_i) = \begin{cases} 1 & ; \text{ falls } x_i \in X_k \\ & \Leftrightarrow P(x_i) \text{ ist wahr} \\ 0 & ; \text{ falls } x_i \notin X_k \\ & \Leftrightarrow P(x_i) \text{ ist falsch} \end{cases}$$

Eine unscharfe Menge X_u geht aus einer konventionellen Menge X_k dadurch hervor, daß die "scharfe" Trennung zwischen jener Menge X_k und ihrer Obermenge X_0 durch $X_k = X_0$ aufgehoben wird; diese beiden identischen Bezugsmengen werden fortan mit X_b bezeichnet. Entsprechend erfolgt eine Erweiterung der Definition der Zugehörigkeitsfunktion, deren Wertebereich hier bereits in der normierten Form mit $[0;1]$ als Intervall aller reellen

1) Vgl. Zadeh (1965), S. 338ff.; Bellman (1970), S. B-141ff.; Zadeh (1973), S. 28ff.; sowie als aktuellen Überblick über den Stand der Forschung die Beiträge in den Sammelwerken Gupta (1977); Gupta (1979) - mit einer ausführlichen (1799 Einträge!) Bibliographie auf S. 621ff. -; Lasker (1981); Gupta (1982a); Gupta (1982b); Zimmermann (1984).

2) Vgl. als Einführungen in dieses Konzept Bellman (1970), S. B-143ff.; Rödder (1977), S. 3ff.; Zimmermann (1979), S. 73ff.; Dubois (1979), S. 27ff.; Milling (1982), S. 718ff.; Schwab (1983), S. 14ff.; Zimmermann (1985a), S. 11ff.; Geyer-Schulz (1986), S. 26ff.

Zahlen zwischen 0 und 1 (einschließlich dieser Grenzwerte) vorausgesetzt wird:

$$\begin{aligned} z &: X_b \rightarrow [0;1] \\ x_i &\rightarrow z(x_i) \end{aligned}$$

Im Hinblick auf die Bezugsmenge X_b und auf die darüber definierte Zugehörigkeitsfunktion z wird die unscharfe Menge X als eine Menge paarweise verschiedener, geordneter 2-Tupel eingeführt:

$$X = \{(x_i; z(x_i)) \mid x_i \in X_b\}$$

Unscharfe Mengen stellen also in formaler Hinsicht eine Erweiterung der 1-Tupel ("Elemente") konventioneller Mengen auf 2-Tupel dar³⁾. Die materielle Bedeutung unscharfer Mengen besteht darin, daß die Zugehörigkeit eines Elements x_i zur Bezugsmenge X_b nicht mehr scharf definiert, sondern über einen zwar eindimensionalen, aber unendlich großen Möglichkeitsraum "verschmiert" ist. Es läßt sich zumeist nicht klar entscheiden, ob Element x_i zur Menge X_b gehört und somit das Prädikat $P(x_i)$ erfüllt ist (Grenzfall mit $z(x_i)=1$) oder nicht (Grenzfall mit $z(x_i)=0$). Vielmehr bedeuten Zugehörigkeitswerte $z(x_i)$ zwischen den Grenzwerten 0 und 1, daß Element x_i zur Menge X_b gehören kann, aber nicht muß.

Hierbei ist der Wert der Funktion z das abstrakte Maß dieser Zugehörigkeitsmöglichkeit⁴⁾. Je größer $z(x_i)$ ausfällt, desto größer die Möglichkeit, daß x_i ein Element aus der Menge X_b darstellt. Beispielsweise wird die unscharfe Menge X mit:

$$\begin{aligned} X = \{ &(1,0; 0); (1,0; 1); (0,8; 2); (0,6; 3); (0,4; 4); \\ &(0,2; 5); (0,0; 6); (0,0; 7); (0,0; 8); \dots \} \end{aligned}$$

-
- 3) Umgekehrt lassen sich konventionelle Mengen als degenerierte Fälle unscharfer Mengen derart auffassen, daß der Wertebereich der Zugehörigkeitsfunktion auf deren Grenzwerte 0 und 1 "verschärft" wird, der Mengenbegriff sich nur noch auf die 2-Tupel mit dem "scharfen" Wert $z(x_i)=1$ der Zugehörigkeitsfunktion bezieht und die zweite, nunmehr bei allen Tupeln identische Komponente der 2-Tupel - der Wert der Zugehörigkeitsfunktion - nicht mehr explizit angeführt wird.
- 4) Vgl. zur Bedeutung des Suffix "-möglichkeit" für das originäre Konzept der unscharfen Mengen die Anmerkungen in Fußnote 9).

in der Weise interpretiert, daß die Zugehörigkeitsmöglichkeit eines Elements x_i aus der Menge $X_b = \{0;1;2;...\}$ in bezug auf die unscharfe Menge X um so größer ist, je kleiner der (numerische) Wert von x_i ausfällt. Folglich kann die Menge X auch als eine formale Operationalisierung des unscharfen Begriffs "kleiner Wert" aus der Menge X_b aufgefaßt werden.

Für die Interpretation unscharfer Mengen - und somit auch für ihre Anwendung zur Lösung realer Probleme - spielt die Zugehörigkeitsfunktion eine zentrale Rolle. Auf sie wird später ausführlicher eingegangen. Hinsichtlich der Definition formaler Operatoren, die es erlauben, mit unscharfen Mengen ähnlich wie mit konventionellen Mengen umzugehen, indem z.B. Vereinigungs- und Durchschnittsmengen gebildet werden, sei dagegen auf die einschlägige Literatur zum Kalkül der unscharfen Mengen verwiesen⁵⁾.

2 Überblick über betriebswirtschaftliche Anwendungen des Konzepts unscharfer Mengen

Derselbe Wortlaut der kennzeichnenden Attribute des Konzepts unscharfer Mengen einerseits und des Bereichs unscharfer (betriebswirtschaftlicher) Probleme andererseits legt es nahe zu versuchen, erstes zur Lösung von zweitem einzusetzen. Hierbei tritt allerdings zunächst die Schwierigkeit zu Tage, daß der Strenge und Eindeutigkeit der Definition von "Unschärfe" im mengenorientierten Konzept die Vagheit oder Mehrdeutigkeit der Vorstellung "unscharfer" Probleme gegenübersteht. Ein Problem kann als unscharf bezeichnet werden⁶⁾, wenn:

5) Vgl. die Quellenangaben in den Fußnoten 1) und 2).

6) Es wird kein Anspruch auf die erschöpfende Aufzählung aller denkmöglichen Begriffsfüllungen erhoben. Insbesondere ist auf Zimmermann (1979), S. 72 u. 125, hinzuweisen, der als vierten Typ unscharfer Probleme die "Lösung schlecht strukturierter Entscheidungsprobleme" ansieht. Allerdings können nach Ansicht des Verf. alle dort angeführten Probleme dieses Typs (vgl. Zimmermann (1979), 72f., 76f. u. 126ff.) auf die o.a. Typen der Konsistenz- und begriffsbedingten Unschärfe zurückgeführt werden.

- es auf einer unsicheren Informationsbasis beruht (unsicherheitsbedingte Unschärfe);
- es - bei strenger Auslegung - in sich Widersprüche birgt, also nur unter einer "weichen" Handhabung gelöst werden kann (konsistenzbedingte Unschärfe);
- es mit unpräzisen Begriffen spezifiziert wird (begriffsbedingte Unschärfe).

Bei der ersten Variante⁷⁾ - der unsicherheitsbedingten Unschärfe - werden die Werte der Zugehörigkeitsfunktion als Wahrscheinlichkeiten, in der Regel als subjektive Wahrscheinlichkeiten, für das Eintreten eines unsicheren Ereignisses oder die Erfüllung einer unsicheren Eigenschaft verwendet. Oder das Integral, das über dem Produkt aus einer Dichte- und einer Zugehörigkeitsfunktion definiert ist, wird als eine Wahrscheinlichkeitsfunktion interpretiert. Beispielsweise können bei Unsicherheit über die Zahlungswirkungen von Investitionsalternativen subjektive Wahrscheinlichkeiten für denkbare Zahlungswirkungen geschätzt werden. Diese Wahrscheinlichkeiten legen die Werte einer Zugehörigkeitsfunktion über der unscharfen Menge der investitionsbedingten Zahlungswirkungen fest. Mit Hilfe des Kalküls unscharfer Mengen läßt sich hieraus die zieloptimale Investitionsalternative ermitteln⁸⁾. Allerdings handelt es sich hierbei nur um eine formale Anwendung dieses Kalküls, weil von den meisten Vertretern des Konzepts un-

7) Vgl. Zadeh (1968b), S. 421ff.; Bellman (1970), S. B-153ff.; Dubois (1979), S. 35; Kandel (1979), S. 181ff.; Hirota (1979), S. 201ff.; Chans (1981), S. 11ff.; Norwich (1982), S. 15ff.; Zhaozhong (1982), S. 67ff.; Zimmermann (1983), S. 208f.; Zimmermann (1985a), S. 109ff.; Czogala (1986), S. 592ff.

8) Vgl. Hanuscheck (1985), S. 122ff.; Hanuscheck (1986), S. 438ff. (Der Verf. vermag allerdings der von Hanuscheck vorgenommenen Abgrenzung unscharfer Mengen von subjektiven Wahrscheinlichkeiten nicht beizupflichten, da die dort angeführten Argumente nicht gegen subjektive, sondern gegen objektive Wahrscheinlichkeiten gerichtet sind, zumal bei Hanuscheck (1986), S. 440, die angeblichen Unterschiede zwischen Zugehörigkeitsfunktionen und subjektiven Wahrscheinlichkeiten nicht mehr klar erkannt werden können. Vgl. hierzu auch die Skepsis von Milling (1982), S. 721, zwischen Wahrscheinlichkeiten und unscharfen Mengen konzeptionell strikt differenzieren zu können.)

scharfer Mengen deren materielle Interpretation durch Wahrscheinlichkeiten abgelehnt wird⁹⁾.

Eine konsistenzbedingte Unschärfe von (Entscheidungs-)Problemen kann auf drei Unterfälle zurückgeführt werden. Erstens ist es möglich, daß mindestens zwei Ziele des zugrundeliegenden Zielsystems zueinander im Konflikt stehen, also in keiner Situation simultan erfüllt werden können. Zweitens können sich mindestens zwei Nebenbedingungen des Entscheidungsfelds, das die sachliche Komponente des Problems beschreibt, gegenseitig ausschließen. Schließlich resultiert durch Kombination der beiden vorgenannten Fälle als dritter Inkonsistenztyp, daß mindestens ein Ziel bei Gültigkeit mindestens einer Nebenbedingung niemals erfüllt werden kann. Unter diesen Voraussetzungen ist die Menge zieloptimaler Problemlösungen notwendig leer, das betrachtete Problem folglich nicht zu handhaben. Wenn jedoch die Anforderungen an die Problemlösung in der Weise abgeschwächt werden, daß die Erfüllung von Zielsystem und Nebenbedingungen des Entscheidungsfelds nur "näherungs-

9) Bereits Zadeh hat sich - wenn von seinen frühen Veröffentlichungen Zadeh (1968b), S. 421ff., und Zadeh (1968a), S. 97, abgesehen wird - entschieden gegen die probabilistische Ausdeutung des Konzepts unscharfer Mengen gewehrt. Er versteht Zugehörigkeitsfunktionen nicht als Wahrscheinlichkeits-, sondern als Möglichkeitsverteilungen und differenziert zwischen diesen beiden entschieden. Näheres hierzu findet sich bei Zadeh (1979), S. 150ff.; vgl. auch Bellman (1970), S. B-142; Zimmermann (1975), S. 785; Rödder (1977), S. 2; Zimmermann (1979), S. 73; Zimmermann (1983), S. 201 u. 205; Zebda (1984), S. 359f. Dies wird - zumindest im Hinblick auf objektive Wahrscheinlichkeiten - durch die Ausführungen von Hanuscheck (1986), S. 439, unterstrichen, daß die Zugehörigkeitsfunktionen unscharfer Mengen die Komplementaritäts- und Additivitäts-Axiome der Wahrscheinlichkeitstheorie von Kolmogorov nicht erfüllen. Vgl. auch den Ausschluß des Minimum-Operators bezüglich der integralbezogenen Wahrscheinlichkeitsdeutung bei Dubois (1979), S. 33. Zebda (1984), S. 369, stellt einen interessanten Ansatz vor, Eintrittswahrscheinlichkeiten von Ereignissen durch Möglichkeitsverteilungen unscharfer Mengen wiederzugeben, indem letztgenannte - z.B. als "Eintrittswahrscheinlichkeit von etwa 30 %" - linguistisch interpretiert werden (vgl. zu dieser speziellen Ausdeutung die Ausführungen im 3. Abschnitt.)

weise" erfolgen muß¹⁰⁾, werden alle drei o.a. Konflikttypen aufgelöst.

Die formale Bewältigung dieser Konfliktbeseitigung kann mit Hilfe des Konzepts unscharfer Mengen erfolgen. Zu diesem Zweck werden die Werte der Zugehörigkeitsfunktion als Maße der Annäherung an die Erfüllung eines Ziels oder einer Nebenbedingung interpretiert¹¹⁾. Z.B. kann ein Zielsystem, das dadurch inkonsistent wird, daß die Anspruchsniveaus von Satisfizierungszielen mehrerer Interessengruppen untereinander in Konflikt stehen, auf Satisfizierungsziele abgebildet werden, die nur noch näherungsweise erfüllt werden müssen¹²⁾.

In formal gleicher Weise lassen sich mehrdimensionale Zielsysteme, in denen mindestens zwei Ziele simultan extremiert werden sollen, auf Zielsysteme zurückführen, bezüglich derer nur noch ein eindimensionales Maß der (maximalen) Zielabweichung minimiert wird¹³⁾. Es besteht eine materielle Ähnlichkeit (aber nicht Gleichheit) mit der Vorgehensweise des goal programming. Die

10) Es ist für das Konzept unscharfer Mengen charakteristisch, daß Zielsystem und Nebenbedingungen des Entscheidungsfelds in formal derselben Weise behandelt werden; vgl. zu dieser "Symmetrie" Bellman (1970), S. B-148ff.; Zimmermann (1975), S. 789; Zimmermann (1979), S. 77; Milling (1982), S. 724; Zimmermann (1983), S. 206.

11) In dieser Hinsicht ähneln Zugehörigkeitsfunktionen materiell den Straffunktionen, die im Rahmen des SUMT-Konzepts (Sequential Unconstrained Minimization Technique) zur mittelbaren Abbildung von Satisfizierungs-Zielen und Nebenbedingungen verwendet werden; vgl. auch Bellman (1970), S. B-148. Vgl. Zum SUMT-Konzept Fiacco (1964), S. 360ff.; Ellinger (1985), S. 232ff.

12) Auf diese Weise verfahren z.B. Carlsson (1982), S. 272ff.; Leberling (1983), S. 402ff., insbesondere S. 409ff. (Leberling geht zwar ursprünglich von Extremierungszielen aus, überführt diese aber später in Satisfizierungsziele); Sakawa (1984), S. 242ff.; Sakawa (1985), S. 720ff.; Dyckhoff (1986), S. 430ff.

13) Vgl. Zimmermann (1978), S. 45ff.; Zimmermann (1979), S. 76f. u. 128f.; Carlsson (1982), S. 276ff.; Leberling (1983), S. 402ff. Einen alternativen Ansatz stellt Seo (1985), S. 45ff., insbesondere S. 50ff., für den Fall vor, daß nicht zu extremierende Zielfunktionen, sondern ordinale Präferenzordnungen aggregiert werden müssen. Hierbei lassen sich unscharfe Mengen einsetzen, um Konflikte zwischen interpersonalen Nutzenunterschieden aufzulösen.

Anwendung des Konzepts unscharfer Mengen auf mehrdimensionale Zielsysteme erlaubt es, sowohl die intrapersonale Vielfalt von Zielvorstellungen als auch die interpersonale Mannigfaltigkeit unterschiedlicher, oftmals konkurrierender Zielsetzungen zu bewältigen.

Die dritte Variante unscharfer Probleme beruht auf der Problembeschreibung durch natürlichsprachliche Begriffe, die infolge der Vagheit und Mehrdeutigkeit der natürlichen, zwischenmenschlichen Sprache(n) unterschiedliche Deutungen zulassen. So kann beispielsweise aus der Problembeschreibung, der gegenwärtige Umsatz eines Geschäftsbereichs in der Höhe von 10 Mio. DM sei "unzureichend", sowohl gefolgert werden, durch einen Umsatz von 20 Mio. DM sei das Problem gelöst, als auch der Schluß erfolgen, ein "zureichender" Umsatz werde erst ab 50 Mio. DM erreicht. Dieser Aspekt von Unschärfe infolge natürlichsprachlicher Problemformulierung wurde bisher in der deutschsprachigen betriebswirtschaftlichen Literatur hinsichtlich der Anwendung unscharfer Mengen nur ansatzweise reflektiert¹⁴⁾. Daher wird hierauf nachfolgend ausführlicher eingegangen.

14) Zwar gehen beispielsweise Zimmermann (1975), S. 788f.; Zimmermann (1979), S. 127, und Zimmermann (1985b), S. 595f. u. 601, auf eine solche sprachliche Vagheit ein und berücksichtigen sie durch die Anwendung unscharfer Mengen. Doch wird noch nicht das Konzept der linguistischen Interpretation benutzt, das speziell für natürlichsprachliche unscharfe Begriffe entwickelt wurde. Daher stellen die o.a. Ausführungen noch keine vollwertigen Umsetzungen dieses Konzepts dar. Zwei wesentliche Ausnahmen von dieser tendenziellen Vernachlässigung stellen die Ausführungen von Zimmermann (1985a), S. 121ff., und die jüngst veröffentlichte Dissertation Geyer-Schulz (1986) dar. Das allgemeine, nicht linguistisch fundierte Konzept, unscharfe Mengen beim Vorliegen unpräziser Informationen anzuwenden, ist dagegen weit verbreitet; vgl. z.B. Prade (1979), S. 153 u. 157.

3 Die linguistische Interpretation von unscharfen Mengen

3.1 Das Konzept der linguistischen Interpretation

Die linguistische Interpretation unscharfer Mengen¹⁵⁾ stellt eine präzise definierte Verknüpfung zwischen unscharfen (vagen, vieldeutigen) natürlichsprachlichen Begriffen und unscharfen Mengen her. Sie stützt sich hierbei auf die Hilfe von speziell formulierten Zugehörigkeitsfunktionen und Operatoren. Ihre Anwendung klang bereits in der Interpretation des einführenden Beispiels einer unscharfen Menge im ersten Abschnitt an.

Sei B eine Menge von natürlichsprachlichen (Unter-)Begriffen b_j , die einem gemeinsamen Oberbegriff¹⁶⁾ untergeordnet werden können. Diese Begriffe b_j werden auch als linguistische Variablen bezeichnet¹⁷⁾. Beispielsweise lassen sich unter den Oberbegriff "Größe" die Begriffe - oder linguistischen Variablen - b_1 und b_2 "groß" bzw. "klein" als unscharfe Konkretisierungen (Individuationen) subsumieren.

Mit X_B wird die (Bezugs-)Menge aller Ausprägungen x_i einer metrischen Indikator-Variablen x bezeichnet¹⁸⁾, deren Definitionsbereich mit einer plausiblen Messung

15) Vgl. Zadeh (1972), S. 5ff.; Zadeh (1973), S. 29ff., insbesondere S. 31ff.; Zadeh (1975), S. 199ff.; Zadeh (1976), S. 250ff.; Hersh (1976), S. 259ff.; Zadeh (1978), S. 399ff.; Yager (1978), S. 483ff.; Zadeh (1979), S. 158ff.; Baldwin (1979a), S. 354ff.; Eshragh (1979), S. 501ff., insbesondere S. 511ff.; Wenstop (1980), S. 99ff.; Tong (1984), S. 323 u. 327f.; Geyer-Schulz (1986), S. 38ff., insbesondere S. 49ff. u. 67ff.

16) Der Oberbegriff ist die Bezeichnung der Menge B ; diese Menge stellt die begriffliche Extension der Bedeutung des Oberbegriffs dar.

17) Strenggenommen handelt es sich um linguistische Konstanten, sobald die Variablen b_j jeweils mit einer konkreten (unscharfen) Bedeutung belegt werden.

18) Es werden hier nur diskrete Metriken betrachtet, um unscharfe Mengen durch endliche explizite Aufzählung ihrer 2-Tupel in einfacher Weise darstellen zu können. Eine Erweiterung auf kontinuierliche Metriken ist durch Übergang auf implizite Darstellungsweisen ohne Schwierigkeiten möglich; vgl. z.B. Zadeh (1972), S. 6ff. u. 23ff.; Zadeh (1973), S. 30ff.

des o.a., der Menge B zugeordneten Oberbegriffs korrespondieren muß (Meßbarkeitsprämisse). Diese Ausprägungen werden benutzt, um die Bedeutungen der linguistischen Variablen b_j in formal scharfer Weise festzulegen. Dies geschieht mit Hilfe der Zugehörigkeitsfunktion z als Kern des Konzepts der linguistischen Interpretation.

Die Bedeutung der unscharfen Begriffe (linguistischen Variablen) b_j läßt sich jeweils durch eine Zugehörigkeitsfunktion z_j formal präzise festlegen. Hierbei wird die Begriffsbedeutung in charakteristischer Weise durch (mindestens) zwei semantische Schwellen $s_{j.u}$ und $s_{j.o}$ auf Ausprägungsintervalle der metrischen Indikator-Variablen x zurückgeführt:

$$z_j : X_B \rightarrow [0;1]$$

$$x_i \rightarrow z_j(x_i)$$

$$\text{mit : } z_j(x_i) = \begin{cases} k & ; \text{ falls } x_i < s_{j.u} \\ f_j(x_i) & ; \text{ falls } s_{j.u} \leq x_i \leq s_{j.o} \\ 1-k & ; \text{ falls } s_{j.o} < x_i \end{cases}$$

Dabei kann die Konstante k nur den Wert 0 oder 1 annehmen. Die Funktion f_j läßt sich in weitere Teilfunktionen $f_{j.h}$ zerlegen, indem der Definitionsbereich der Funktion f_j durch zusätzliche semantische Schwellen $s_{j.h}$ zwischen $s_{j.u}$ und $s_{j.o}$ in entsprechende Teilbereiche aufgeteilt wird.

Jede Zugehörigkeitsfunktion z_j definiert im Hinblick auf die Bezugsmenge X_B die unscharfe Menge X_j , die das formal präzise Äquivalent des unscharfen Begriffs (der linguistischen Variablen) b_j darstellt:

$$X_j = \{(x_i; z_j(x_i)) \mid x_i \in X_B\}$$

Beispielsweise ist es möglich, die einführend vorgestellte unscharfe Menge X hinsichtlich der Bezugsmenge $X_B = X_B$ in folgender Weise linguistisch zu interpretieren: Die Bezugsmenge X_B ist die Menge aller Ausprägungen für die metrische Indikator-Variable $x =$ "Umsatz in Mio. DM". Der unscharfe Begriff (die linguistische Variable) $b_j =$ "kleiner Umsatz" wird durch die Zugehörigkeitsfunktion z_j festgelegt, für die gilt:

$$z_j = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & ; \text{ falls } x_i < 1 \\ (6 - x_i) : 5 & ; \text{ falls } 1 \leq x_i \leq 6 \\ 0 & ; \text{ falls } 6 < x_i \end{array} \right.$$

Je nach intuitiver Vorstellung bezüglich der Bedeutung eines unscharfen natürlichsprachlichen Begriffs b_j können die semantischen Schwellen $z_{j.u}$ und $z_{j.o}$ (gegebenenfalls auch weitere Schwellen $z_{j.h}$) und die Funktionen f_j ($f_{j.h}$) festgelegt werden. Diese Bedeutungs-Operationalisierung läßt sich mittels der unscharfen Menge X_j , welche durch die vorgenannten Größen eindeutig bestimmt wird, in äquivalenter Weise ausdrücken¹⁹⁾. Diese Umsetzung eines unscharfen natürlichsprachlichen Begriffs in eine präzise formalsprachliche Beschreibung

19) Eine allgemein anwendbare Zuordnung unscharfer Mengen X_j zu unscharfen Begriffen b_j kann durch folgende Festlegungen erreicht werden:

$$t_{1.k.u.o} = k + (-1)^k \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot (x_i - s_u) : (s_o - s_u)}{(s_o - s_u)^2} \right)^{-1}$$

$$t_{2.k.u.o} = 1 - k + (-1)^{1-k} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot (s_o - x_i) : (s_o - s_u)}{(s_o - s_u)^2} \right)^{-1}$$

$$t_3 = 1 - \left(1 + \frac{(|2s_u + 2s_o - 4x_i|) : (s_o - s_u)}{(s_o - s_u)^2} \right)^{-1}$$

Eine zwischen den Schwellen s_u und s_o in (invers-) S-förmiger Weise steigende (fallende) Zugehörigkeitsfunktion z_k resultiert dann mit $k=0$ ($k=1$) durch:

$$z_{k.u.o}(x_i) = \left\{ \begin{array}{ll} k & ; \text{ falls } x_i < s_u \\ t_{1.k.u.o} & ; \text{ falls } s_u \leq x_i < 0,5(s_u + s_o) \\ t_{2.k.u.o} & ; \text{ falls } 0,5(s_u + s_o) \leq x_i \leq s_o \\ 1 - k & ; \text{ falls } s_o < x_i \end{array} \right.$$

Eine Zugehörigkeitsfunktion z_h , die zwischen den Schwellen s_u und s_o glockenförmig zunächst ansteigt und nach ihrem Gipfel s_h mit $s_h = 0,5(s_u + s_o)$ wieder abfällt, wird festgelegt durch:

$$z_h(x_i) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & ; \text{ falls } x_i < s_u \\ z_{0.u.h}(x_i) & ; \text{ falls } s_u \leq x_i \leq s_h \\ z_{1.h.o}(x_i) & ; \text{ falls } s_h \leq x_i \leq s_o \\ 1 & ; \text{ falls } s_o < x_i \end{array} \right.$$

Dies läßt sich durch einfache Äquivalenzumformungen überführen in:

$$z_h(x_i) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & ; \text{ falls } x_i < s_u \\ t_{1.0.u.h} & ; \text{ falls } s_u \leq x_i < 0,5(s_u + s_h) \\ t_3 & ; \text{ falls } 0,5(s_u + s_h) \leq x_i < 0,5(s_h + s_o) \\ t_{2.1.h.o} & ; \text{ falls } 0,5(s_h + s_o) \leq x_i \leq s_o \\ 1 & ; \text{ falls } s_o < x_i \end{array} \right.$$

der Begriffsbedeutung wird - in Anlehnung an Zadeh²⁰⁾ - als (originäre) "Fuzzifizierung" bezeichnet.

Das Konzept der linguistischen Interpretation unscharfer Mengen geht über diese zentrale Fuzzifizierungs-Operation hinaus, indem es weitere Operatoren für die Verknüpfung und fortschreitende (derivative) Fuzzifizierung bereits eingeführter unscharfer Begriffe b_j - oder ihrer zugeordneten unscharfen Mengen X_j - umfaßt. Wenn die beiden letztgenannten unscharfen Objekte durch originäre Fuzzifizierung gebildet wurden, werden sie als atomare Ausdrücke bezeichnet. Die Gesamtheit aller atomaren Ausdrücke und aller Operatoren bildet den Kalkül einer unscharfen Logik²¹⁾.

Ein einfaches Beispiel für einen solchen Kalkül sei kurz skizziert. Sämtliche aussagenlogischen Verknüpfungen von unscharfen Begriffen b_j lassen sich durch die Operatoren \wedge , \vee und \neg für die Konjunktion ("und"), die Adjunktion (inklusive "oder") bzw. die Negation ("nicht") bilden. Die Operatoren der Kon- und Adjunktion legen zugleich bedeutungsäquivalente Verknüpfungen der zugehörigen unscharfen Mengen X_j fest. Es gilt:

- $b_1 \wedge b_2 \iff z_{1\wedge 2}(x_i) = \min \{z_1(x_i); z_2(x_i)\}$
 $\iff X_1 \cap X_2$
- $b_1 \vee b_2 \iff z_{1\vee 2}(x_i) = \max \{z_1(x_i); z_2(x_i)\}$
 $\iff X_1 \cup X_2$
- $\neg b_3 \iff z_{\neg 3}(x_i) = 1 - z_3(x_i)$

Zur Verstärkung oder Abschwächung bereits eingeführter unscharfer Begriffe b_j dienen die derivativen Fuzzifizierungs-Operatoren der starken (O_{SK}) oder schwachen (O_{SK}) Konzentration bzw. starken (O_{SD}) oder schwachen (O_{SD}) Dilation:

20) Vgl. Zadeh (1972), S. 17ff.; Zadeh (1973), S. 32.

21) Vgl. zu solchen Logiken Lee (1971), S. 560ff.; Zadeh (1973), S. 36ff.; Zadeh (1974), S. 591ff.; Zadeh (1979), S. 161ff.; Baldwin (1979b), S. 93ff.; Mizumoto (1979), S. 117ff.; Yager (1983), S. 73ff., insbesondere S. 77ff.; Zadeh (1983), S. 200ff.; Chang (1983), S. 245ff.; Whalen (1983), S. 63ff.; Zimmermann (1983), S. 209f.

- $b_1 = O_{SK}(b_2) \Leftrightarrow z_1(x_i) = (z_2(x_i))^{2,00}$
- $b_1 = O_{SK}(b_2) \Leftrightarrow z_1(x_i) = (z_2(x_i))^{1,25}$
- $b_1 = O_{SD}(b_2) \Leftrightarrow z_1(x_i) = (z_2(x_i))^{0,75}$
- $b_1 = O_{SD}(b_2) \Leftrightarrow z_1(x_i) = (z_2(x_i))^{0,50}$

Die erste Besonderheit dieser Operatoren liegt darin begründet, daß sich ihnen inhaltlich korrespondierende unscharfe Attribute zuordnen lassen, und zwar die Attribute "sehr (very)", "mehr (plus)", "weniger (minus)" und "kaum (hardly)" für die Operatoren O_{SK} , O_{SK} , O_{SD} bzw. O_{SD} . Beispielsweise kann der unscharfe Begriff $b_2 =$ "erfolgreich" durch den starken Konzentrations-Operator O_{SK} in seiner Unschärfe verstärkt, d.h. in den abgeleiteten unscharfen Begriff $b_1 = O_{SK}(b_2) =$ "sehr erfolgreich" transformiert werden.

Zweitens lassen sich diese derivativen Fuzzifizierungs-Operatoren - wie auch die o.a. aussagenlogischen Verknüpfungs-Operatoren - beliebig ineinanderschachteln. Jeder dieser Schachtelungen kann wieder ein unscharfes Attribut zugeordnet werden. Z.B. ist es möglich, der Aufeinanderfolge der Anwendung des starken Konzentrations-Operators und des schwachen Dilations-Operators durch das Attribut "ziemlich" zu interpretieren. Hierfür gilt:

$$b_1 = O_{SD}(O_{SK}(b_2)) \Leftrightarrow z_1(x_i) = ((z_2(x_i))^2)^{0,75}$$

$$\Leftrightarrow z_1(x_i) = ((z_2(x_i))^{1,5})^{0,75}$$

Schließlich können alle aussagenlogischen Verknüpfungs- und derivativen Fuzzifizierungs-Operatoren auf atomare unscharfe Begriffe beliebig angewendet und ineinander geschachtelt werden. Jede solche Operatoren-Schachtelung definiert einen neuen, zusammengesetzten Operator des Kalküls. Aus der Anwendung dieser Operatoren resultiert eine potentiell unendlich große Vielfalt zusammengesetzter unscharfer Begriffe mit beliebig kleinen inhaltlichen Nuancierungen²²⁾.

22) Vgl. Wenstop (1979), S. 509ff.; Wenstop (1980), S. 105; Geyer-Schulz (1986), S. 70ff.

Beispielsweise läßt sich der zusammengesetzte unscharfe Begriff b_3 ="nicht sehr klein und (auch) nicht außerordentlich groß" mit Hilfe der atomaren unscharfen Begriffe b_1 ="klein" und b_2 ="groß" formal präzise festlegen durch folgende Operatoren-Schachtelung²³⁾:

$$b_3 = (\neg O_{SK}(b_1)) \wedge (\neg O_{SK}(O_{SK}(b_2)))$$

$$\Leftrightarrow z_3(x_i) = \min \{1 - (z_1(x_i))^2 ; 1 - ((z_2(x_i))^2)^2\}$$

Auf diese Weise ist es möglich, mit der originären Fuzzifizierung unscharfer Ausgangsbegriffe und nur sieben nicht-geschachtelten (elementaren) Operatoren eine überaus reichhaltige unscharfe Sprache zu erzeugen. Sie umfaßt die Menge aller atomaren und zusammengesetzten unscharfen Begriffe, die mit diesem Kalkül gebildet werden können²⁴⁾.

3.2 Anwendungsmöglichkeiten im Hinblick auf unscharfe Probleme

Die Anwendungsmöglichkeiten des Konzepts linguistisch interpretierter unscharfer Mengen auf unscharf formulierte betriebswirtschaftliche Probleme erstrecken sich nur auf den o.a. Typ der begriffsbedingten Unschärfe. Vorausgesetzt wird fortan der betriebswirtschaftlich am häufigsten diskutierte Fall der Entscheidungsprobleme²⁵⁾. Der Kerngedanke besteht darin, alle

23) Dieses Beispiel wurde Zadeh (1973), S. 35f., entnommen.

24) Dieses Konzept wurde - vor allem durch die Einführung unscharfer Inferenzregeln - zu umfassenden unscharfen Logiken fortentwickelt. Vertiefende Quellenangaben hierzu fanden sich bereits in Fußnote 21).

Ein weiterer Ausbau dieser deklarativen Logiken ist in prozeduraler Hinsicht dadurch möglich, daß das Konzept der Fuzzifizierungs-Operatoren zur Zulässigkeit von beliebig definierten Operatoren verallgemeinert wird; vgl. zu solchen Operatoren z.B. Geyer-Schulz (1986), S. 76ff. Mit der Hilfe solcher Operatoren lassen sich Prozeduren zur Verarbeitung unscharfer sprachlicher Konstrukte bilden, die als unscharfe Algorithmen bezeichnet werden; vgl. hierzu Zadeh (1968a), S. 94ff.; Zadeh (1973), S. 38ff.; Geyer-Schulz (1986), S. 63ff.

25) Vgl. auch Geyer-Schulz (1986), S. 73ff.

wesentlichen Begriffe einer natürlichsprachlichen Problemformulierung als Ausdrücke einer unscharfen Sprache zu rekonstruieren.

Zu diesem Zweck müssen diese Begriffe als atomare unscharfe Begriffe durch originäre Fuzzifizierung, als inhaltliche Äquivalente von elementaren derivativen Fuzzifizierungs-Operatoren oder als zusammengesetzte unscharfe Begriffe gedeutet werden, die aus atomaren unscharfen Begriffen und/oder beliebig vielen der o.a. aussagenlogischen Verknüpfungs- und derivativen Fuzzifizierungs-Operatoren aufgebaut sind. Grundlage ist jeweils der Kalkül einer unscharfen Logik wie der oben beispielhaft vorgestellte.

Es bereitet keine Schwierigkeiten, wenn einzelne natürlichsprachliche Begriffe der ursprünglichen Problembeschreibung scharf definiert sind. Denn diese lassen sich in entsprechender Weise auf konventionelle ("scharfe") Mengen zurückführen, die ihrerseits als degenerierte Erscheinungsformen unscharfer Mengen behandelt werden können²⁶⁾. Auch formalsprachliche Beschreibungen von Problemkomponenten, wie z.B. lineare Pro-

26) Vgl. die Ausführungen in Fußnote 3); vgl. auch Zimmermann (1979), S. 77.

gramme, können auf einfache Weise mit der Hilfe von unscharfen Mengen ausgedrückt ("fuzzifiziert") werden²⁷⁾.

Sobald die - nunmehr formal präzise - Rekonstruktion der ursprünglichen Problembeschreibung vorliegt, läßt sich das derart gebildete Ersatzproblem mit den üblichen formalen Methoden der Analysis und Mengenlehre (zieloptimal) lösen.

Die optimale Lösung des Ersatzproblems²⁸⁾ wird durch eine unscharfe Menge X_{opt} beschrieben²⁹⁾. Es sei angenommen, daß dem ursprünglichen Problem n Entscheidungsalternativen e_i zugrundeliegen, die sich jeweils durch die Ausprägung x_i einer metrischen Indikator-Variablen

27) Eine übersichtliche Darstellung dieser Transformation findet sich bei Zimmermann (1975), S. 790ff.; Rödder (1977), S. 12ff.; Zimmermann (1979), S. 125ff.; Zimmermann (1983), S. 207f. u. 214; Zimmermann (1985b), S. 601ff.

Nebenbedingungen, die Restriktionen des Entscheidungsfelds ausdrücken, lassen sich leicht in unscharfe Mengen überführen. Hierzu wird der Grad der Restriktionsverletzung durch eine Zugehörigkeitsfunktion abgebildet, welche die Werte 1 und 0 im Falle der Erfüllung bzw. "extremen" Verletzung der betroffenen Restriktion einnimmt. Gleiches gilt für Satisfizierungsziele, die - obwohl materiell Bestandteile des Zielsystems - formal in der gleichen Weise wie die Nebenbedingungen des Entscheidungsfelds gehandhabt werden können. Extremierungsziele bedürfen dagegen einer besonderen Behandlung. Entweder es werden für sie Unter- und Oberschranken "sehr schlechter" bzw. "sehr guter" Zielerfüllung abgeschätzt, von denen nicht erwartet wird, daß sie von der endgültigen Problemlösung unter- bzw. überschritten werden können. Dann lassen sich Zugehörigkeitsfunktionen konstruieren, welche an diesen Unter- und Oberschranken die Werte 0 bzw. 1 annehmen und im Intervall dazwischen streng monoton steigen. Dieser Weg wird z.B. von Zimmermann (1975), S. 793, und Zimmermann (1979), S. 126f.; beschrieben. Stattdessen läßt sich auch eine "entartete" Zugehörigkeitsfunktion definieren, welche nicht mehr - wie oben im Text für den Normalfall ausgeführt - die Werte 0 oder 1 annimmt. Vielmehr konvergiert sie für das Infimum des Wertebereichs einer zu maximierenden (minimierenden) Zielfunktion nur noch gegen den Grenzwert 0 (1) und für dessen Supremum entsprechend gegen den Grenzwert 1 (0).

28) Diese wird fortan vereinfachend als Problemlösung bezeichnet, solange offensichtlich ist, daß es sich um die Lösung des Ersatzproblems handelt.

29) Es wird von einer einelementigen Lösungsmenge des betrachteten Problems ausgegangen. Im Falle einer mehrelementigen Lösungsmenge ist diese explizit als eine solche Menge darzustellen. Jedes ihrer Elemente wird durch eine unscharfe Menge gebildet.

x darstellen lassen³⁰⁾. Die unscharfe Lösungsmenge X_{opt} besteht dann aus 2-Tupeln $(x_i; z_{\text{opt}}(x_i))$. Sie geben jeweils in ihrer ersten Komponente die betroffene Entscheidungsalternative e_i - mittelbar durch x_i repräsentiert - an und in ihrer zweiten Komponente das Ausmaß der Zugehörigkeit dieser Entscheidungsalternative zur optimalen, unscharfen Problemlösung³¹⁾.

Diese unscharfe Lösungsmenge weist keine Entscheidungsalternative eindeutig als optimal aus. Daher wird in der Regel³²⁾ zusätzlich festgelegt, daß die revidierte, nunmehr konventionell definierte Lösungsmenge $X_{\text{opt}'}$ alle Entscheidungsalternativen e_i umfaßt, die in der ursprünglichen unscharfen Lösungsmenge X_{opt} durch die Variablen-Ausprägung x_i mit dem maximalen Wert der Zugehörigkeitsfunktion z_{opt} repräsentiert werden (Lösungsprämisse)³³⁾:

$$X_{\text{opt}'} = \{e_i | (x_i; z_{\text{opt}}(x_i)) \in X_{\text{opt}} \wedge z_{\text{opt}}(x_i) = \dots \\ \dots \max \{z_{\text{opt}}(x_j) | (x_j; z_{\text{opt}}(x_j)) \in X_{\text{opt}}\} \}$$

Falls mehrere Elemente aus der Menge X_{opt} denselben maximalen Wert der Zugehörigkeitsfunktion aufweisen, ist die revidierte Lösungsmenge $X_{\text{opt}'}$ mehrelementig. Die eindeutige, aber unscharfe Problemlösung wird in eine gegebenenfalls mehrdeutige, jedoch scharfe revidierte Problemlösung transformiert.

30) Im Fall von linearen Programmen mit J "Entscheidungsvariablen" m_j ($j=1; \dots; J$), die z.B. jeweils die Produktionsmenge eines Gutes im zu optimierenden Produktionsprogramm darstellen, wird durch jede Entscheidungsalternative e_i jedem Gut j genau eine Produktionsmenge $m_{j,i}$ zugeordnet. Folglich nimmt die metrische "Variable", auf die unscharfe Mengen mittels ihrer Zugehörigkeitsfunktionen zurückgeführt werden, die Gestalt eines Vektors \underline{x} an, dessen i -te Ausprägung $\underline{x}_i = (m_{1,i}; \dots; m_{J,i})$ die Entscheidungsalternative e_i repräsentiert.

31) Vgl. Bellman (1970), S. B-149f.

32) Vgl. zu andersartigen Konzepten Rommelfanger (1986), S. 220ff.

33) Vgl. Bellman (1970), S. B-150; Zadeh (1968a), S. 97 mittelbar; Zimmermann (1975), S. 790ff.; Rödder (1977), S. 14; Winand (1978), S. 173f.; Zimmermann (1979), S. 75; Zimmermann (1983), S. 207; Zimmermann (1985b), S. 600ff.; Geyer-Schulz (1986), S. 74; Rommelfanger (1986), S. 220.

Zusammenfassend lassen sich zwei zentrale Aspekte des Konzepts linguistisch interpretierter unscharfer Mengen hervorheben. Erstens erlauben sie, unscharf - vor allem auch natürlichsprachlich - formulierte Problembeschreibungen derart zu rekonstruieren, daß die resultierenden Ersatzbeschreibungen formalsprachlich präzise gehandhabt werden können, obwohl die originäre Problemunscharfe in Gestalt der unscharfen Mengen bewahrt wird³⁴⁾. Zweitens lassen sich innerhalb desselben Kalküls sowohl unscharfe, natürlichsprachliche als auch scharfe, bereits formalsprachlich präzisierete³⁵⁾ Komponenten von Problembeschreibungen ausdrücken. Trotz heterogenen Komponentencharakters ist eine homogene Rekonstruktion der Problembeschreibung möglich.

4 Sprachorientierte Anwendungsbereiche des Konzepts unscharfer Mengen

Das Konzept unscharfer Mengen hat seit etwa Mitte der siebziger Jahre besondere Beachtung bei der Entwicklung natürlichsprachlicher Automaten, einem speziellen Typ der wissensbasierten Systeme oder Expertensysteme, gefunden³⁶⁾. Es liegt nahe, die natürlichsprachlichen Benutzereingaben mit der Hilfe unscharfer Mengen so in eine formalsprachliche automateninterne Repräsentation umzusetzen, daß sie der automatischen Weiterverarbeitung - z.B. der assoziativen Suche inhaltsähnlicher Informationen in einem Textspeicher (information

34) Vgl. zu dieser Unschärfe-Bewahrung Zimmermann (1979), S. 73.

35) Vgl. hierzu die o.a. exemplarischen Anmerkungen zur Behandlung linearer Programme.

36) Die Fähigkeit natürlichsprachlicher Automaten, mit unscharfen Begriffen umzugehen, wird ausführlich von Wahlster (1977), S. 19ff. u. 31ff., behandelt.

retrieval) oder der logischen Ableitung von Antworten auf Benutzeranfragen³⁷⁾ - zugänglich sind³⁸⁾.

Beispielsweise wurde zur Implementierung eines der bekanntesten natürlichsprachlichen Automaten im deutschsprachigen Raum - des "Hamburger Redepartnermodells" (HAM-RPM) - die Programmiersprache "FUZZY" herangezogen, die auf dem Konzept unscharfer Mengen beruht³⁹⁾. Zadeh, der - wie bereits oben erwähnt - einer der maßgeblichen Begründer des Konzepts unscharfer Mengen war und auch deren linguistische Interpretation inspirierte, entwickelte das Sprachkonzept PRUF (Possibilistic Relational Universal Fuzzy), das speziell der Repräsentation von unscharfem Wissen in Expertensystemen dient⁴⁰⁾. Darüber hinaus wurde das Konzept unscharfer Mengen mit einem der Standardkonzepte der Wissensrepräsentation für Expertensysteme - dem der Produktionsregelsysteme - verknüpft⁴¹⁾. Durch Verbindung der vorgenannten Ansätze mit den o.a. Kalkülen unscharfer Logiken bildet dieses Konzept eine breite Basis zur Entwicklung von Expertensystemen mit der Fähigkeit zu

37) Vgl. zu solchen Ansätzen, die Informationssuche in Informationsspeichern durch Anwendungen des Konzepts unscharfer Mengen zu unterstützen, Nakamura (1982), S. 373ff., insbesondere S. 379ff.; Kraft (1983), S. 47ff.; Yager (1983), S. 81ff.; Prade (1984), S. 113ff.; Zemankova-Leech (1984), S. 118ff.

38) Vgl. Zadeh (1978), S. 397 u. 410ff.; Imaoka (1979), S. 419ff.; Zadeh (1981), S. 281ff.; Wahlster (1981b), S. 259ff., insbesondere S. 270ff.

39) Vgl. Wahlster (1979), S. 249ff.; v. Hahn (1980), S. 125ff. u. 212ff.; Wahlster (1981a), S. 81ff.; Wahlster (1981b), S. 266ff. Eine detaillierte Beschreibung dieses Automaten bietet insbesondere v. Hahn (1980), S. 119ff.

40) Vgl. Zadeh (1978), S. 397ff., insbesondere S. 410ff.

41) Vgl. Weiss (1979), S. 590ff.; Whalen (1983), S. 57ff.; Lesmo (1984), S. 795ff.; Rolland-May (1986), S. 5ff. u. 12ff.

unscharfen, "approximativen" Schlußfolgerungen (Inferenzen)⁴²⁾.

Aber auch seitens Betriebswirtschaftslehre und Operations Research wurde bereits auf die Möglichkeit hingewiesen, das Konzept unscharfer Mengen zur Beschreibung von Problemen einzusetzen, die auf einer "weichen Modellbildung" mit Hilfe unscharfer Begriffe beruhen⁴³⁾. Es liegen bereits mehrere Ansätze vor, diese allgemeine Empfehlung in konkrete Konzepte auf der Basis der linguistischen Interpretation umzusetzen.

Hierzu zählt die Anregung, in mehrdimensionale Zielsysteme zur Bewertung von Entscheidungsalternativen auch solche Zielformulierungen aufzunehmen, welche den Zielerreichungsgrad nicht mehr quantitativ, sondern "nur" noch qualitativ durch natürlichsprachliche Begriffe wie "hoch", "mittel" oder "niedrig" ausdrücken⁴⁴⁾. Konsequenterweise haben Tong und Bonissone diesen Gedanken auf die Bestimmung der relativen Vorteilhaftigkeit von Investitionsalternativen übertragen⁴⁵⁾. Sie ermitteln die optimale Investitionsentscheidung unter Vorgabe eines mehrdimensionalen Zielsystems, in dem alle Investitionsziele hinsichtlich ihrer Erfüllung nur noch durch unscharfe natürlichsprachliche Begriffe beurteilt werden. Von Zebda wurde in ähnlicher Weise das Entscheidungsproblem modelliert⁴⁶⁾, im Rahmen einer Standardkostenrechnung bei Auftreten von Kostenabweichungen aufwendige Abweichungsanalysen zu initiieren

42) Vgl. Zadeh (1974), S. 593ff.; Gaines (1976), S. 683ff.; Wahlster (1977), S. 79ff. u. 88ff.; Zadeh (1979), S. 177ff.; Baldwin (1981), S. 2859ff.; Ernst (1981), S. 2898ff.; Zadeh (1983), S. 202ff.; Whalen (1983), S. 63ff.; Chang (1983), S. 243ff.; Yager (1983), S. 73ff., insbesondere S. 77ff.; Gaines (1984), S. 57ff.; sowie - mit explizitem Bezug auf Expertensysteme - die Beiträge in dem Sammelband Gupta (1982b), S. 201ff.; Prade (1984), S. 113ff.; Zemankova-Leech (1984), S. 1 u. 155f.; Turksen (1985b), S. 865ff.; Zimmermann (1985a), S. 151ff.; Zimmermann (1985b), S. 599; Geyer-Schulz (1986), S. 19ff. u. 234ff.

43) Vgl. Winand (1978), S. 168ff.; Menges (1983), S. 372f. u. 375 i.V.m. S. 359ff.; Zimmermann (1983), S. 206f.; Geyer-Schulz (1986), S. 39ff. u. 86ff.

44) Vgl. Zebda (1984), S. 364, 367f., 375 u. 377; Borisov (1985), S. 94ff.

45) Vgl. Tong (1980), S. 719ff.; Tong (1984), S. 328ff.

46) Vgl. Zebda (1984), S. 363ff. u. 374ff.

oder aber hierauf zu verzichten, die angezeigten Abweichungen also als unwesentliche, erratische Schwankungen zu qualifizieren. Geyer-Schulz verallgemeinert diese speziellen Ansätze zu einem Konzept unscharfer Bewertungsverfahren⁴⁷⁾, in dessen Rahmen Entscheidungsalternativen unter beliebigen unscharf formulierten, multi-dimensionalen Zielsystemen betrachtet werden. Die zahlreichen Beiträge, die lineare Optimierungsprobleme in unscharfer Weise ausdrücken und lösen⁴⁸⁾, werden hier nicht als Sonderfälle der voranstehenden Alternativenbewertung aufgefaßt, weil sie nicht auf das Konzept der linguistischen Interpretation unscharfer Mengen rekurrieren⁴⁹⁾.

Einen Beitrag zur Fortentwicklung von Prognosemethoden stellt der Versuch dar, durch linguistisch interpretierte unscharfe Mengen die qualitative Prognosefähigkeit menschlicher Experten auf informationsverarbeitende Automaten zu übertragen⁵⁰⁾. Die qualitativen, d.h. nicht numerisch fundierten Überlegungen solcher Experten wurden bei der Vorhersage von Wechselkursentwicklungen protokolliert. Es ist beabsichtigt, die hierbei verwendeten unscharfen natürlichsprachlichen prognosespezifischen Begriffe zusammen mit einer formalen Theorie, auf welche Weise neue Informationen mit Prognoserelevanz in bereits vorhandenes vorläufiges Prognosewissen integriert werden, in ein Prognosekalkül auf der Basis unscharfer Mengen einzubringen. Ein Automat, der diese qualitative Prognosefähigkeit zu realisieren vermag, wurde allerdings noch nicht präsentiert.

47) Vgl. Geyer-Schulz (1986), S. 90ff.

48) Vgl. z.B. Zimmermann (1975), S. 790ff.; Rödder (1977), S. 12ff.; Zimmermann (1979), S. 125ff.; Kabbara (1982), S. 239ff.; Leberling (1983), S. 399ff.; Zimmermann (1985a), S. 220ff. u. 263ff.; Zimmermann (1985b), S. 601f.; Geyer-Schulz (1986), S. 105ff.

49) Vgl. Geyer-Schulz (1986), S. 110. Das gleiche Argument trifft für die - infolge ihrer seltenen Behandlung dennoch erwähnenswerten - Konzepte der unscharfen Netzpläne und der unscharfen dynamischen Optimierung zu, die von Geyer-Schulz (1986), S. 152ff., bzw. Prade (1979), S. 157f. u. 161ff., und Geyer-Schulz (1986), S. 188ff., erörtert werden.

50) Vgl. zum folgenden Zimmer (1984), S. 124ff., insbesondere S. 128f. u. 130f.

Ein etwas weniger anspruchsvoller Ansatz⁵¹⁾ wurde dagegen bereits implementiert und erfolgreich getestet. Es handelt sich hierbei um die Vorhersage der Herstellkosten von chemischen Großanlagen. Der Konstruktion von Prognosefunktionen werden natürlichsprachliche, heuristische Regeln bezüglich des tendenziellen Ausmaßes der Anlagenkosten in Abhängigkeit von diversen Einflußgrößen zugrundegelegt. Mittels der linguistischen Interpretation von unscharfen Mengen lassen sich diese Regeln in quantitative Kosten-Schätzfunktionen transformieren.

Mit einem anderen Konzept wird die Absicht verfolgt, das Verhalten technischer Systeme durch unscharfe Begriffe zu beschreiben, um durch Anwendung des Kalküls unscharfer Mengen Erkenntnisse über die Zuverlässigkeit dieser Systeme abzuleiten⁵²⁾. In enger sachlicher Nähe hierzu steht das Vorhaben, die heuristischen, oftmals intuitiv verfolgten und nur vage bewußten Strategien, die Menschen bei der Überwachung komplexer technischer Systeme - z.B. in Leitständen - anwenden, mit Hilfe linguistisch interpretierter unscharfer Mengen zu erfassen⁵³⁾. Auf diese Weise können die Steuerungsstrategien formalsprachlich repräsentiert und in Automaten zur Systemsteuerung eingebracht werden. Erste Verwirklichungen dieses unscharfen Automatisierungskonzepts liegen bereits vor⁵⁴⁾.

51) Vgl. Turunen (1984), S. 283ff., insbesondere S. 285ff. Vgl. zu einem weiteren Vorschlag, Prognoseaufgaben mit der Hilfe von unscharfen linguistischen Regeln zu erfüllen, die Ausführungen von Tong (1979), S. 563ff., hinsichtlich der Vorhersage des zukünftigen Verhaltens eines Systems.

52) Vgl. Babinec (1981), S. 702ff.

53) Vgl. Mamdani (1975), S. 1ff.; King (1977), S. 235ff.; Tong (1977), S. 559 u. 561ff.; Mamdani (1977), S. 77ff.; Braae (1979), S. 554f. u. 561ff.; Holmblad (1982), S. 389ff.; Zimmermann (1983), S. 209ff. (u. 214); Takagi (1985), S. 116ff., insbesondere S. 126ff.; Zimmermann (1985a), S. 177ff. u. 286ff.; Geyer-Schulz (1986), S. 212ff. Eine breite bibliographische Übersicht über diese Anwendungsform unscharfer Mengen gewährt Maiers (1985), S. 176ff.

54) Vgl. King (1977), S. 238ff.; Tong (1977), S. 562ff.; Holmblad (1982), S. 392ff.; Takagi (1985), S. 129ff., insbesondere S. 131.

Dieser Ansatz wurde dadurch verallgemeinert, daß natürlichsprachliche, unscharf formulierte Regeln, die von Menschen zur Steuerung beliebiger Systeme angewendet werden, in die formalsprachlich präzise Darstellungsweise von unscharfen Mengen überführt werden⁵⁵⁾. Ziel ist es, ein präziseres Verständnis der Wirkungsweise solcher Regeln in komplexen Systemumgebungen zu erlangen. Ein einfaches Beispiel für diese Forschungsrichtung ist die Abbildung und simulative Wirkungsanalyse heuristischer Zuordnungsregeln, die Milling mit der Hilfe von unscharfen Mengen für ein Problem der Personaleinsatzplanung durchgeführt hat⁵⁶⁾.

5 Schwierigkeiten bei der Anwendung unscharfer Mengen zur Lösung unscharfer Probleme

Das Konzept unscharfer Mengen läßt sich auf Probleme mit unsicherheitsbedingter Unschärfe ohne größere Schwierigkeiten anwenden⁵⁷⁾. Doch sind keine besonderen Vorzüge gegenüber anderen Konzepten zur Entscheidung unter Unsicherheit - wie z.B. der Bayes-Analyse - ersichtlich. Unscharfe Mengen führen hier nur zu einer Variation der formalen Problemrepräsentation ohne wesentlichen Erkenntnisgewinn. Daher findet diese Variante ihrer Anwendung auf unscharfe Probleme hier keine nähere Berücksichtigung.

55) Vgl. Weiss (1979), S. 589ff.; Wenstop (1979), S. 502ff.; Rinks (1981), S. 2877ff.; Turksen (1985a), S. 650ff.; Turksen (1985b), S. 865ff.

56) Vgl. Milling (1982), S. 726ff.

57) Vgl. z.B. Dubois (1979), S. 33. Allerdings sind die Operatoren in anderer Weise als bei der oben ausführlicher beschriebenen linguistischen Interpretation zu definieren, um die Übereinstimmung mit geläufigen Operationen für die Berechnung von Eintrittswahrscheinlichkeiten kombinierter Ereignisse zu gewährleisten. Dies ist problemlos möglich; vgl. Zhaozhong (1982), S. 67ff. (trotz des andere Vermutungen erweckenden Titels). Vgl. jedoch die auf S. 4f., insbesondere in Fußnote 9), angeführten Vorbehalte gegenüber dieser Vorgehensweise.

Im Hinblick auf Probleme mit konsistenzbedingter Unschärfe wirft das Konzept unscharfer Mengen die Frage auf, ob sein Einsatz zur Konfliktauflösung zwischen widersprechenden Einzelzielen tatsächlich erstrebenswert ist. Denn durch die Fuzzifizierung aller Zielformulierungen wird die Existenzmöglichkeit von Konflikten in Problembeschreibungen auf der Basis von unscharfen Mengen ex ante ausgeschlossen. Hierdurch werden potentielle Konflikte zwischen ursprünglich scharf formulierten Zielen konzepttechnisch eliminiert und somit hinsichtlich der Problemhandhabung verdeckt.

Es ist jedoch betriebswirtschaftlich zu überdenken, ob nicht die Konfliktoffenlegung der Konfliktnegierung und -verschleierung vorzuziehen wäre, um einen Diskurs, ein Aushandeln von Konfliktlösungen zwischen den betroffenen Interessengruppen zu ermöglichen. Der Verf. präferiert diese offene, direkte Konflikthandhabung gegenüber der verdeckten, mittelbaren, in ein nicht einfach zu durchschauendes mathematisches Konzept verlagerten Konfliktauflösung.

Ferner impliziert das Konzept der unscharfen Mengen durch die Definition seiner Operatoren jeweils spezifische Arten der Konfliktauflösung, von denen später eine im Rahmen des speziellen Konzepts der linguistischen Interpretation exemplarisch vorgestellt wird⁵⁸⁾. Dies bedeutet über die Verdeckung der Konfliktauflösung hinaus eine gravierende Einschränkung der involvierten Interessengruppen bezüglich des Auflösungsmodus.

Die linguistische Interpretation des Konzepts unscharfer Mengen setzt zunächst durch ihre Meßbarkeitsprämisse voraus, daß jedem unscharfen Begriff⁵⁹⁾ einer Problembeschreibung eine metrische Variable als scharf definierter Indikator zugeordnet werden kann. Dies ist etwa im Fall der oben genannten Beispiele - der Begrif-

58) Die dort angeführte Art der Konfliktauflösung durch konjunktive Zielverknüpfung (Minimierungs-Operator) wird auch von den Ansätzen geteilt, die nicht auf die spezielle linguistische Interpretation der unscharfen Mengen zurückgreifen; vgl. z.B. Leberling (1983), S. 406.

59) Eine solche Zuordnung kann auch auf einen Oberbegriff, dem eine Anzahl unscharfer Begriffe untergeordnet ist, bezogen werden.

fe "großer" und "kleiner Umsatz" - durch die Umsatzangabe in Mio. DM ohne Schwierigkeiten möglich. Doch ist es keineswegs selbstverständlich, daß immer solche metrischen Indikator-Variablen aufgefunden werden können.

Eines der größten Probleme bei der Anwendung linguistisch interpretierter unscharfer Mengen liegt in der Konstruktion von Zugehörigkeitsfunktionen während der originären Fuzzifizierung von unscharfen, natürlich-sprachlichen Begriffen aus der ursprünglichen Problembeschreibung⁶⁰). Denn die Transformation der intuitiven Vorstellungen über den Inhalt eines solchen unscharfen Begriffs in numerisch präzise bestimmte Schwellen und Werte einer entsprechenden Zugehörigkeitsfunktion stellt einen schöpferischen Akt dar, bei dem der Konzeptanwender implizite Intuition in formalsprachliche, explizite Präzision überführt. Dies bedeutet eine Zugabe von präzisionsschaffender Information, deren Ursprung nicht in der unscharfen Problemvorgabe, sondern in der Person des Konzeptanwenders liegt⁶¹). Hierdurch involviert das Konzept unscharfer Mengen eine subjektive Komponente, die stets das Potential in sich birgt, das ursprüngliche Problem während der Rekonstruktion

60) Vgl. zur Problematik der Ermittlung von - nicht notwendig linguistisch angewendeten - Zugehörigkeitsfunktionen Zimmermann (1975), S. 795; Rödder (1977), S. 17; Zimmermann (1979), S. 77; Thole (1979), S. 168ff.; Babinec (1981), S. 702 u. 705; Chaudhuri (1982), S. 3; Milling (1982), S. 720; Schwab (1983), S. 22ff.; Zimmermann (1983), S. 211f.; Chang (1983), S. 243; Geyer-Schulz (1986), S. 82 u. 245.

Es liegen erste Ansätze vor, Zugehörigkeitsfunktionen - oftmals mit der Hilfe von Computerprogrammen - empirisch zu ermitteln; vgl. Hersh (1976), S. 263ff., der Zugehörigkeitsfunktionen für die unscharfen Begriffe "groß" und "klein" sowie für die o.a. derivativen Fuzzifizierungs-Operatoren durch psychologische Experimente ermittelt; Hersh (1979), S. 389ff., insbesondere S. 397ff.; Norwich (1981), S. 2855ff.; Chaudhuri (1982), S. 4ff.; Zimmermann (1983), S. 214; Zebda (1984), S. 374, 377f. u. 383f.; Zimmermann (1985a), S. 316ff.; Zimmermann (1985b), S. 599f.; Geyer-Schulz (1986), S. 82. Von Schwab (1983), S. 25ff., stammt z.B. der Vorschlag, aus empirisch erhobenen Schwellenwerten und axiomatischen Postulaten hinsichtlich des Funktionsverlaufs entsprechende Zugehörigkeitsfunktionen abzuleiten.

61) Vgl. Zadeh (1972), S. 5; Carlsson (1982), S. 274.

eines unscharfen, formalsprachlich präzisierten Ersatzproblems zu verzerren. Entsprechend variiert die Problemlösung in Abhängigkeit von der jeweils subjektiv erfolgten Ersatzproblem-Präzisierung⁶²⁾.

Zwar vermeidet die Anwendung linguistisch interpretierter unscharfer Mengen den Informationsverlust, der entstehen würde, wenn bei der Gestaltung eines formalsprachlichen Ersatzproblems die begriffliche Unschärfe der ursprünglichen natürlichsprachlichen Problembeschreibung verloren ginge. Die Bewahrung der probleminhärenten Unschärfe durch unscharfe Mengen, die sich im Verlauf der Zugehörigkeitsfunktionen manifestiert, bedeutet jedoch zugleich eine Informationsverfälschung durch die oben erläuterte subjektive, problemfremde Informationszugabe bei der numerischen Festlegung der Zugehörigkeitsfunktionen.

Diese exogene Informationszugabe öffnet das Konzept unscharfer Mengen der Willkür des Konzeptanwenders. Diese Willkür kann theoretisch durch Betrachtung der explizit vorliegenden Zugehörigkeitsfunktionen jederzeit kritisch überprüft werden. Praktisch läßt sich diese Möglichkeit jedoch kaum nutzen, da nur die wenigsten betrieblichen Instanzen, die mit der Modellierung und Lösung von Problemen befaßt sind, über das erforderliche formale Verständnis von Analysis und Mengenlehre verfügen, um die Angemessenheit der Zugehörigkeitsfunktionen kontrollieren zu können⁶³⁾. Wenn die Bestimmung der Zugehörigkeitsfunktionen - wie etwa bei den meisten Konzepten natürlichsprachlicher Automaten - zudem noch in die Programme oder Wissensbanken von informationsverarbeitenden Automaten verlagert wird, sind

62) Vgl. Zebda (1984), S. 384.

63) Vgl. hierzu die exemplarisch angeführten komplexeren Zugehörigkeitsfunktionen in Fußnote 16).

sie in der Regel nur noch Computerspezialisten zugänglich⁶⁴⁾.

Darüber hinaus erfolgt durch die Benutzung des Kalküls unscharfer Mengen zur Lösung von unscharfen Problemen auch ein Informationsverlust. Denn die Konjunktions- und Adjunktions-Operatoren basieren auf der Anwendung von Minimierungs- bzw. Maximierungs-Operationen, welche die unscharfen Informationen aller involvierten Zugehörigkeitsfunktionen (unscharfen Mengen) mit nicht-extremalen Funktionswerten für alle nachfolgenden Analyseschritte zerstören.

Konkret bedeutet dieser operatorenbedingte Informationsverlust z.B. im Hinblick auf Entscheidungsprobleme mit mehrdimensionalen Zielsystemen, daß die Entscheidungsträger implizit auf "faire" Konfliktauflösungen im Sinne des Fairnessprinzips von Rawls⁶⁵⁾ festgelegt werden. Dieses Prinzip impliziert für den Fall konfligierender Ziele, daß die maximale Zielerreichung desjenigen Ziels erfolgt, das jeweils von allen Zielen am schlechtesten erfüllt wird⁶⁶⁾. Diese Art der Konflikt-

64) Allerdings bietet das Konzept kooperativer, erklärungs- und lernfähiger Benutzerschnittstellen von Expertensystemen einen Ansatz, dieses Problem der Willkür-Verdeckung einzudämmen. So könnte im einfachsten Fall ein Expertensystem seinem Benutzer auf Anfrage erklären, welche Zugehörigkeitsfunktion es bei der Fuzzifizierung eines unscharfen Begriffs verwendet hat und aus welchen Gründen dies erfolgte. Wenn der Benutzer eine abweichende Vorstellung über die "angemessene" Umsetzung seines intuitiven Begriffsverständnisses hegt, kann er das Expertensystem zur entsprechenden Korrektur veranlassen. Das System vermag seinerseits diese Information zu speichern, evt. zu verallgemeinern und - etwa im Rahmen des nonmonotonen Schließens - zur automatischen Korrektur anderer, vom Benutzer nicht unmittelbar angesprochener Begriffs-Fuzzifizierungen zu nutzen.

65) Vgl. Rawls (1975), S. 178.
Das Fairnessprinzip von Rawls - die Maximierung der Position des gesellschaftlich schlechtest Gestellten - bezieht sich ursprünglich auf interpersonale Nutzenvergleiche zur Bestimmung der gesellschaftlichen Wohlfahrt. Es läßt sich jedoch analog auf interfinale "Nutzen"vergleiche zwischen Einzelzielen übertragen, indem Agenten unterstellt werden, die jeweils ein Interesse an der Erreichung eines dieser Ziele besitzen.

66) Vgl. zu diesem "Maximin"-Charakter Winand (1978), S. 174; Leberling (1983), S. 406.

lösung wird durch das Zusammenwirken der konjunktiven Zielverknüpfung in Zielsystemen, welche die simultane Berücksichtigung aller angeführten Ziele erfordern, der speziellen Gestalt des Konjunktions-Operators des Kalküls linguistisch interpretierter unscharfer Mengen und der Lösungsprämisse bei der Bestimmung optimaler Problemlösungen erzwungen. Denn der Konjunktions-Operator führt zur ausschließlichen Berücksichtigung derjenigen Ziele mit den jeweils minimalen Werten der Zugehörigkeitsfunktion (also den maximalen Abweichungen von den Oberschranken bestmöglicher Zielerfüllung)⁶⁷⁾. Die Lösungsprämisse veranlaßt, aus den resultierenden unscharfen Lösungsmengen diejenigen Entscheidungsalternativen mit dem maximalen Wert der Zugehörigkeitsfunktion auszuwählen.

Problematisch ist nicht die Art dieser Konfliktauflösung als solche⁶⁸⁾, sondern deren implizite Fixierung. Dies läßt einerseits den Entscheidungsträgern keine Möglichkeit offen, zwischen unterschiedlichen Alternativen der Konfliktregelung zu wählen. Sie werden hinsichtlich ihrer Entscheidungskompetenz einem kon-

67) Carlsson (1982), S. 273f., lehnt den Konjunktions-Operator in der Minimierungs-Formulierung sogar grundsätzlich ab, weil dieser bei abhängigen - z.B. konfliktionären - Einzelzielen "zu restriktiv" wirke. Allerdings wird ein Maßstab für dieses Urteil nicht mitgeteilt. Auch Bellman (1970), S. B-145; Winand (1978), S. 174, und Milling (1982), S. 721f., lassen Zweifel hinsichtlich der Notwendigkeit erkennen, Kon- und Adjunktions-Operator durch Minimierungs- bzw. Maximierungs-Vorschriften definieren zu müssen. Gleicher Ansicht sind im Hinblick auf den Konjunktions-(Schnittmengen-)Operator Zimmermann (1975), S. 795; Rödder (1977), S. 6; Zimmermann (1979), S. 75f.; Schwab (1983), S. 50ff. i.V.m. S. 56; Zimmermann (1983), S. 211ff.; Zimmermann (1985b), S. 598f. Bei Thole (1979), S. 171ff., insbesondere S. 174ff. u. 178, und Zimmermann (1985a), S. 327ff., werden die Ergebnisse von empirischen Studien vorgestellt, in denen beobachtet wurde, auf welche Weise Personen tatsächlich unscharfe Aussagen konjunktiv verknüpfen. Die Hypothese der (uneingeschränkten) Gültigkeit des Minimierungs-Operators mußte hierbei zurückgewiesen werden. Allerdings beziehen sich alle vorgenannten Autoren auf das Konzept unscharfer Mengen im allgemeinen, nicht auf deren linguistische Interpretation im speziellen.

68) Vgl. aber auch die ernstzunehmende, strengere Beurteilung von Rommelfanger (1986), S. 220, der sogar die Auflösungsart als solche in Frage stellt.

zeptbedingten, einschränkenden Zwang unterworfen. Andererseits bedeutet die implizite Entstehung dieses Zwangs, daß er den Konzeptanwendern zumeist nicht bewußt ist und deshalb mit hoher Wahrscheinlichkeit übersehen wird.

Abermals zeigt sich hier die Tendenz des Konzepts unscharfer Mengen, wesentliche Konsequenzen seines Einsatzes vor betrieblichen, mathematisch nicht besonders geschulten Konzeptanwendern in schwer zu durchschauenden Formalismen zu verbergen. Ihm kommt die bedauernswerte Eigenschaft konzeptioneller Intransparenz zu.

Die Lösungsprämisse führt neben der Fixierung der Konfliktauflösung auch zu einer problematischen Scheingenauigkeit. Aus dem Konzept unscharfer Mengen kann strenggenommen nur die ursprüngliche Lösungsmenge X_{opt} gefolgert werden. Die unscharfe Berücksichtigung aller Entscheidungsalternativen im Optimum - jeweils nur mit unterschiedlichen Werten der Zugehörigkeitsfunktion z_{opt} - entspricht genau der Unschärfe der ursprünglichen Problembeschreibung⁶⁹⁾. Daher führt die Setzung der Lösungsprämisse gewaltsam zu einer Lösungsschärfe (Genauigkeit), die im Grunde dem Konzept unscharfer Mengen widerspricht, die inhärente Problemunschärfe trotz formalsprachlich präziser Problemrekonstruktion zu bewahren. Daher sieht der Verf. in der Ableitung der revidierten Lösungsmenge X_{opt} eine Verletzung des Kerngedankens unscharfer Mengen. Folglich sollte auf diese Ableitung verzichtet werden.

Die Lösungsprämisse bedeutet eine artifizielle, konzeptfremde Zutat, die nur dem Bedürfnis der Konzeptanwender entspringt, unscharfe Problemlösungen in leichter zu handhabende scharfe Lösungen zu transformieren. Eine solche Scheingenauigkeit hat jedoch nichts mehr mit der Lösung des originär unscharfen Problems gemein-

69) Vgl. Tong (1980), S. 720.

sam, sondern nur noch mit der Projektion der Anwenderwünsche auf das Konzept für die Problemlösung⁷⁰⁾.

Zuletzt ist zu beachten, daß der Vorzug linguistisch interpretierter unscharfer Mengen, durch ihren Einsatz zur Gestaltung natürlichsprachlicher, infolgedessen benutzerfreundlicher Automaten beizutragen, einen bedenklichen Nebeneffekt nach sich zu ziehen vermag. Die Möglichkeit, bei der Benutzung informationsverarbeitender Automaten Probleme mit unscharfen natürlichsprachlichen Begriffen beschreiben zu können, enthebt den Benutzer der jetzt noch vorherrschenden Aufgabe, für die automatische Verarbeitung eine präzise formalsprachliche Problemspezifizierung zu erarbeiten.

Diese Erleichterung für den Automatenbenutzer kann mittelbar bewirken, daß die gedankliche Problemdurchdringung seitens des Menschen aus Bequemlichkeit reduziert wird⁷¹⁾. Hierdurch würden implizite Vorentscheidungen zunehmend in Automaten verlagert. Solche Vorentscheidungen manifestieren sich in der Gestalt vordefinierter Zugehörigkeitsfunktionen für originäre Fuzzifi-

70) In diesem Sinne erklärt auch Geyer-Schulz (1986), S. 74f., die Einschränkung der Lösungsprämisse auf Minimierungs- und Maximierungsoperatoren in den o.a. Definitionen für unzulässig. Vielmehr seien - zum Auffinden der optimalen Entscheidung - "... je nach Zweck des Entscheidungsmodells die richtigen Operatoren auszuwählen" (S. 75). Allerdings läßt Geyer-Schulz offen, wie operationale Kriterien für dieses Metaproblem der Auswahl "zweckgerechter" Operatoren formuliert werden könnten (vgl. S. 81ff.). Eine ausführliche Erörterung unterschiedlicher Ansätze, eine optimale Lösung für unscharf formulierte Entscheidungsprobleme auszuwählen, findet sich bei Rommelfanger (1986), S. 220ff.

71) Vgl. zu dieser Thematik Shneiderman (1980), S. 207f.; Weizenbaum (1982), S. 150ff. Besonders plastisch wird sie von Weizenbaum (1982), S. 151f., beschrieben: "Man programmiert ... nicht, weil man etwas versteht, sondern um zu einem Verständnis zu gelangen. Programmieren ist ein Akt des Entwerfens. ... Tatsächlich glauben viele erfahrene Programmierer, ihre Aufgabe sei schwierig, da die Sprachen, mit denen sie zu tun haben, starre syntaktische Regeln aufweisen. Deshalb rufen sie ständig nach Programmiersystemen, die mit einer natürlichen Sprache ... arbeiten. Programmierer, die diese Ansicht vertreten, haben vermutlich nie ein wirklich schwieriges Problem angepackt, und aus diesem Grund nie das Bedürfnis nach einer wirklich tiefgehenden Kritik seitens des Computers empfunden."

zierungs-Operationen und ebenso vordefinierter derivativer Operatoren, die automatenintern verwaltet werden. In diesem Zusammenhang sei insbesondere auf die oben erörterte implizite Festlegung auf die Konfliktauflösung nach Maßgabe des Fairnessprinzips von Rawls verwiesen.

Literaturverzeichnis

- Babinec, F. u. M. Dohnal: Fuzzy Reliability of Industrial Processes, in: o.V.: VI. International Conference on Production Research, 24.-29.08.1981 in Novi Sad, London 1981, S. 701-705.
- Baldwin, J.F. u. B.W. Pilsworth: A model of fuzzy reasoning through multi-valued logic and set theory, in: International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 11 (1979), S. 351-380 (a).
- Baldwin, J.F.: Fuzzy Logic and Its Application to Fuzzy Reasoning, in: Gupta, M.M., R.K. Ragade u. R.R. Yager (Hrsg.): Advances in Fuzzy Set Theory and Applications, Amsterdam - New York - Oxford 1979, S. 93-115 (b).
- Baldwin, J.F.: Fuzzy Knowledge Bases and Automated Fuzzy Reasoning, in: Lasker, G.E. (Hrsg.): Applied Systems and Cybernetics, Proceedings of the International Congress on Applied Systems Research and Cybernetics, Vol. VI: Fuzzy Sets and Fuzzy Systems, Possibility Theory and Special Topics in Systems Research, New York - Oxford - Toronto - Sydney - Paris - Frankfurt 1981, S. 2859-2865.
- Baldwin, J.F. u. B.W. Pilsworth: Dynamic Programming for Fuzzy Systems with Fuzzy Environment, in: Journal of Mathematical Analysis and Applications, Vol. 85 (1982), S. 1-23.
- Bellman, R.E. u. L.A. Zadeh: Decision-Making in a Fuzzy Environment, in: Management Science, Vol. 17 (1970), S. B-141 - B-164.
- Borisov, A. u. L. Naglis: Multi-Criteria Choice of Alternatives in an Expert System for Computer-Aided Design of Industrial Robot Installations, in: Fuzzy Sets and Systems, Vol. 16 (1985), S. 93-101.
- Braae, M. u. D.A. Rutherford: Theoretical and Linguistic Aspects of the Fuzzy Logic Controller, in: Automatica, Vol. 15 (1979), S. 553-577.
- Carlsson, C.: Tackling an MCDM-problem with the help of some results from fuzzy set theory, in: European Journal of Operational Research, Vol. 10 (1982), S. 270-281.
- Chanas, S. u. J. Kamburowski: The Use of Fuzzy Variables in PERT, in: Fuzzy Sets and Systems, Vol. 8 (1981), S. 11-19.
- Chang, C.L.: Decision Support in an Imperfect World, in: o.V.: Proceedings Trends & Applications 1983 - Automating Intelligent Behavior - Applications and Frontiers, Silver Spring 1983, S. 240-247.
- Chaudhuri, B.B. u. D.D. Majumder: On Membership Evaluation in Fuzzy Sets, in: Gupta, M.M. u. E. Sanchez (Hrsg.): Approximate Reasoning in Decision Analysis, Amsterdam - New York - Oxford 1982, S. 3-11.

Czogala, E.: A Dominance of Alternatives for Decision Making in Probabilistic Fuzzy Environment, in: Trappl, R. (Hrsg.): Cybernetics and Systems'86, Proceedings of the Eighth European Meeting on Cybernetics and Systems Research, 1.-4.04.1986 in Wien, Dordrecht - Boston - Lancaster - Tokyo 1986, S. 591-598.

Dubois, D. u. H. Prade: Outline of Fuzzy Set Theory: An Introduction, in: Gupta, M.M., R.K. Ragade u. R.R. Yager (Hrsg.): Advances in Fuzzy Set Theory and Applications, Amsterdam - New York - Oxford 1979, 27-48.

Dyckhoff, H.: Interessenaggregation unterschiedlichen Egalitätsgrades: Ein Ansatz auf der Basis der Theorie unscharfer Mengen, in: Streitferdt, L., H. Hauptmann, A. W. Marusev, D. Ohse u. U. Pape (Hrsg.): Operations Research Proceedings 1985, DGOR - Vorträge der 14. Jahrestagung, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1986, S. 429-435.

Ellinger, T.: Operations Research - Eine Einführung, 2. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1985.

Ernst, C.J.: An Approach to Management Expert Systems Using Fuzzy Logic, in: Lasker, G.E. (Hrsg.): Applied Systems and Cybernetics, Proceedings of the International Congress on Applied Systems Research and Cybernetics, Vol. VI: Fuzzy Sets and Fuzzy Systems, Possibility Theory and Special Topics in Systems Research, New York - Oxford - Toronto - Sydney - Paris - Frankfurt 1981, S. 2898-2905.

Eshragh, F. u. E.H. Mamdani: A general approach to linguistic approximation, in: International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 11 (1979), S. 501-519.

Fiacco, A.V. u. G.P. McCormick: The Sequential Unconstrained Minimization Technique for Nonlinear Programming, in: Management Science, Vol. 10 (1964), S. 360-366.

Gaines, B.R.: Foundations of fuzzy reasoning, in: International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 8 (1976), S. 623-668.

Gaines, B.R.: Fundamentals of Decision: Probabilistic, Possibilistic and Other Forms of Uncertainty in Decision Analysis, in: Zimmermann, H.J., L.A. Zadeh u. B.R. Gaines (Hrsg.): Fuzzy Sets and Decision Analysis, Amsterdam - New York - Oxford 1984, S. 47-65.

Geyer-Schulz, A.: Unscharfe Mengen im Operations Research, Dissertation an der Wirtschaftsuniversität Wien 1985, Wien 1986.

Gupta, M.M., G.N. Saridis u. B.R. Gaines (Hrsg.): Fuzzy Automata and Decision Processes, New York - Amsterdam - Oxford 1977.

Gupta, M.M., R.K. Ragade u. R.R. Yager (Hrsg.): Advances in Fuzzy Set Theory and Applications, Amsterdam - New York - Oxford 1979.

Gupta, M.M. u. E. Sanchez (Hrsg.): Fuzzy Information and Decision Processes, Amsterdam - New York - Oxford 1982 (a).

Gupta, M.M. u. E. Sanchez (Hrsg.): Approximate Reasoning in Decision Analysis, Amsterdam - New York - Oxford 1982 (b).

Hanuscheck, R.: Flexible Investitionsplanung mit Fuzzy-Zahlungsreihen, in: Ohse, D., A.C. Esprester, H.-U. Küpper, P. Stähly u. H. Steckhan (Hrsg.): Operations Research Proceedings 1984, DGOR - Vorträge der 13. Jahrestagung, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1985, S. 120-127.

Hanuscheck, R.: Fuzzy Sets versus Wahrscheinlichkeiten - Zur Eignung beider Konzepte für die quantitative Investitionsplanung unter Unsicherheit, in: Streitferdt, L., H. Hauptmann, A.W. Marusev, D. Ohse u. U. Pape (Hrsg.): Operations Research Proceedings 1985, DGOR - Vorträge der 14. Jahrestagung, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1986, S. 437-442.

Hersh, H.M. u. A. Caramazza: A Fuzzy Set Approach to Modifiers and Vagueness in Natural Language, in: Journal of Experimental Psychology, Vol. 105 (1976), S. 254-276.

Hersh, H.M., A. Caramazza u. H.H. Brownell: Effects of Context on Fuzzy Membership Functions, in: Gupta, M.M., R.K. Ragade u. R.R. Yager (Hrsg.): Advances in Fuzzy Set Theory and Applications, Amsterdam - New York - Oxford 1979, S. 389-408.

Hirota, K.: Extended Fuzzy Expression of Probabilistic Sets, in: Gupta, M.M., R.K. Ragade u. R.R. Yager (Hrsg.): Advances in Fuzzy Set Theory and Applications, Amsterdam - New York - Oxford 1979, S. 201-214.

Holmblad, L.P. u. J.-J. Ostergaard: Control of a Cement Kiln by Fuzzy Logic, in: Gupta, M.M. u. E. Sanchez (Hrsg.): Fuzzy Information and Decision Processes, Amsterdam - New York - Oxford 1982, S. 389-399.

Imaoka, H. u. M. Sugeno: A Model of Dialog Based on Fuzzy Set Concept, in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, Vol. 1, o.O. (Stanford) 1979, S. 419-421.

Kabbara, G.: New Utilization of Fuzzy Optimization Method, in: Gupta, M.M. u. E. Sanchez (Hrsg.): Fuzzy Information and Decision Processes, Amsterdam - New York - Oxford 1982, S. 239-246.

Kandel, A.: On Fuzzy Statistics, in: Gupta, M.M., R.K. Ragade u. R.R. Yager (Hrsg.): Advances in Fuzzy Set Theory and Applications, Amsterdam - New York - Oxford 1979, S. 181-199.

King, P.J. u. E.H. Mamdani: The Application of Fuzzy Control Systems to Industrial Processes, in: Automatica, Vol. 13 (1977), S. 235-242.

King, P.J. u. E.H. Mamdani: The Application of Fuzzy Control Systems to Industrial Processes, in: Gupta, M.M., G.N. Saridis u. B.R. Gaines (Hrsg.): Fuzzy Automata and Decision Processes, New York - Amsterdam - Oxford 1977, S. 321-330.

- Kraft, D.H. u. D.A. Buell: Fuzzy sets and generalized Boolean retrieval systems, in: International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 19 (1983), S. 45-56.
- Lasker, G.E. (Hrsg.): Applied Systems and Cybernetics, Proceedings of the International Congress on Applied Systems Research and Cybernetics, Vol. VI: Fuzzy Sets and Fuzzy Systems, Possibility Theory and Special Topics in Systems Research, New York - Oxford - Toronto - Sydney - Paris - Frankfurt 1981.
- Leberling, H.: Entscheidungsfindung bei divergierenden Faktorinteressen und relaxierten Kapazitätsrestriktionen mittels eines unscharfen Lösungsansatzes, in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 25. Jg. (1983), S. 389-419.
- Lee, R.C.T.: Fuzzy Logic and the Resolution Principle, in: o.V.: Second International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-71), 1.-3.09.1971 in London, Portsmouth 1971, S. 560-567.
- Lesmo, L., L. Saitta u. P. Torasso: An Interpreter for Fuzzy Production Rules, in: Trappl, R. (Hrsg.): Cybernetics and Systems Research 2, Proceedings of the Seventh European Meeting on Cybernetics and Systems Research, Amsterdam 1984, S. 793-798.
- Maiers, J. u. Y.S. Sherif: Applications of Fuzzy Set Theory, in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-15 (1985), S. 175-189.
- Mamdani, E.H. u. S. Assilian: An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller, in: International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 7 (1975), S. 1-13.
- Mamdani, E.H.: Applications of Fuzzy Set Theory to Control Systems: A Survey, in: Gupta, M.M., G.N. Saridis u. B.R. Gaines (Hrsg.): Fuzzy Automata and Decision Processes, New York - Amsterdam - Oxford 1977, S. 77-88.
- Menges, G.: Unscharfe Konzepte im Operations Research, in: Loeffel, H. u. P. Stähly (Hrsg.): Methods of Operations Research, VII. Symposium on Operations Research, 19.-21.08.1982 in Sankt Gallen, Tagungsberichte der Sektionen 4 bis 9 (Bd. 2), Königstein 1983, S. 353-379.
- Milling, P.: Entscheidungen bei unscharfen Prämissen - Betriebswirtschaftliche Aspekte der Theorie unscharfer Mengen, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 52. Jg. (1982), S. 716-734.
- Mizumoto, M., S. Fukami u. K. Tanaka: Some Methods of Fuzzy Reasoning, in: Gupta, M.M., R.K. Ragade u. R.R. Yager (Hrsg.): Advances in Fuzzy Set Theory and Applications, Amsterdam - New York - Oxford 1979, S. 117-136.
- Nakamura, K. u. S. Iwai: A Representation of Analogical Inference by Fuzzy Sets and Its Application to Information Retrieval System, in: Gupta, M.M. u. E. Sanchez (Hrsg.): Fuzzy Information and Decision Processes, Amsterdam - New York - Oxford 1982, S. 373-386.

Norwich, A.M. u. I.B. Turksen: Measurement and Scaling of Membership Functions, in: Lasker, G.E. (Hrsg.): Applied Systems and Cybernetics, Proceedings of the International Congress on Applied Systems Research and Cybernetics, Vol. VI: Fuzzy Sets and Fuzzy Systems, Possibility Theory and Special Topics in Systems Research, New York - Oxford - Toronto - Sydney - Paris - Frankfurt 1981, S. 2851-2858.

Norwich, A.M. u. I.B. Turksen: Stochastic Fuzziness, in: Gupta, M.M. u. E. Sanchez (Hrsg.): Approximate Reasoning in Decision Analysis, Amsterdam - New York - Oxford 1982, S. 13-22.

Prade, H.: Using Fuzzy Set Theory In a Scheduling Problem: A Case Study, in: Fuzzy Sets and Systems, Vol. 2 (1979), S. 153-165.

Prade, H.: Data Bases with Fuzzy Information and Approximate Reasoning in Expert Systems, in: Ponomaryov, V.M. (Hrsg.): Artificial Intelligence, Proceedings of the IFAC Symposium, 4.-6.10.1983 in Leningrad, Oxford - New York - Toronto - Sydney - Paris - Frankfurt 1984, S. 113-119.

Rawls, J.: Eine Theorie der Gerechtigkeit, Frankfurt 1975.

Rinks, D.B.: A Heuristic Approach to Aggregate Production Scheduling Using Linguistic Variables, in: Lasker, G.E. (Hrsg.): Applied Systems and Cybernetics, Proceedings of the International Congress on Applied Systems Research and Cybernetics, Vol. VI: Fuzzy Sets and Fuzzy Systems, Possibility Theory and Special Topics in Systems Research, New York - Oxford - Toronto - Sydney - Paris - Frankfurt 1981, S. 2877-2883.

Rödder, W. u. H.J. Zimmermann: Analyse, Beschreibung und Optimierung von unscharf formulierten Problemen, in: Zeitschrift für Operations Research, Bd. 21 (1977), S. 1-18.

Rommelfanger, H.: Rangordnungsverfahren für unscharfe Mengen - Ein kritischer Vergleich mit empirisch ermittelten Präferenzaussagen, in: OR Spektrum, Bd. 8 (1986), S. 219-228.

Rolland-May, C.: Knowledge Representation in an Expert System for Spatial Management, Using Fuzzy Informations; Arbeitspapier, präsentiert anlässlich: Workshop on Expert Systems on PCs, 21.-22.04.1986 in Brüssel, Metz 1986.

Sakawa, M.: Interactive Multiobjective Decision-Making by the Fuzzy Sequential Proxy Optimization Technique - FSPOT, in: Zimmermann, H.J., L.A. Zadeh u. B.R. Gaines (Hrsg.): Fuzzy Sets and Decision Analysis, Amsterdam - New York - Oxford 1984, S. 241-260.

Sakawa, M. u. H. Yano: An Interactive Fuzzy Satisficing Method Using Augmented Minimax Problems and Its Application to Environmental Systems, in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-15 (1985), S. 720-729.

Schwab, K.-D.: Ein auf dem Konzept der unscharfen Mengen basierendes Entscheidungsmodell bei mehrfacher Zielsetzung, Frankfurt - Bern - New York 1983.

- Seo, F. u. M. Sakawa: Fuzzy Multiattribute Utility Analysis for Collective Choice, in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-15 (1985), S. 45-53.
- Shneiderman, B.: Software Psychology - Human Factors in Computer and Informations Systems, Cambridge (Massachusetts) 1980.
- Takagi, T. u. M. Sugeno: Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control, in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-15 (1985), S. 116-132.
- Thole, U., H.-J. Zimmermann u. P. Zysno: On the Suitability of Minimum and Product Operators for the Intersection of Fuzzy Sets, in: Fuzzy Sets and Systems, Vol. 2 (1979), S. 167-180.
- Tong, R.M.: A Control Engineering Review of Fuzzy Systems, in: Automatica, Vol. 13 (1977), S. 559-569.
- Tong, R.M.: The Construction and Evaluation of Fuzzy Models, in: Gupta, M.M., R.K. Ragade u. R.R. Yager (Hrsg.): Advances in Fuzzy Set Theory and Applications, Amsterdam - New York - Oxford 1979, S. 559-576.
- Tong, R.M. u. P.P. Bonissone: A Linguistic Approach to Decisionmaking with Fuzzy Sets, in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-10 (1980), S. 716-723.
- Tong, R.M. u. P.P. Bonissone: Linguistic Solutions to Fuzzy Decision Problems, in: Zimmermann, H.J., L.A. Zadeh u. B.R. Gaines (Hrsg.): Fuzzy Sets and Decision Analysis, Amsterdam - New York - Oxford 1984, S. 323-334.
- Turksen, I.B.: Fuzzy Sets and Systems and its Applications in Production Research, in: Bullinger, H.-J. u. H.J. Warnecke (Hrsg.): Toward the Factory of the Future, Proceedings of the 8th International Conference on Production Research and 5th Working Conference of the Fraunhofer-Institute for Industrial Engineering (FHG-IAO), 20.-22.08.1985 in Stuttgart, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1985, S. 649-656 (a).
- Turksen, I.B., N. Moray u. K. Fuller: A Linguistic Rule-Based Expert System For Mental Workload, in: Bullinger, H.-J. u. H.J. Warnecke (Hrsg.): Toward the Factory of the Future, Proceedings of the 8th International Conference on Production Research and 5th Working Conference of the Fraunhofer-Institute for Industrial Engineering (FHG-IAO), 20.-22.08.1985 in Stuttgart, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1985, S. 865-875 (b).
- Turunen, I., M. Järveläinen u. M. Dohnal: Fuzzy Approach to Factorial Cost Estimation of Chemical Plants, in: Engineering Costs and Production Economics, Vol. 7 (1984), S. 279-292.
- v. Hahn, W., W. Hoepfner, A. Jameson u. W. Wahlster: The Anatomy of the Natural Language Dialog System HAM-RPM, in: Bolc, L. (Hrsg.): Natural Language Based Computer Systems, München - Wien - London - Basingstoke 1980, S. 119-253.

- Wahlster, W.: Die Repräsentation von vagem Wissen in natürlichsprachlichen Systemen der Künstlichen Intelligenz, Bericht Nr. 38 (IFI-HH-B-38/77) am Institut für Informatik der Universität Hamburg, Hamburg 1977.
- Wahlster, W.: Die Simulation vager Inferenzen auf unscharfem Wissen: Eine Anwendung der mehrwertigen Programmiersprache FUZZY, in: Ueckert, H. u. D. Rhenius (Hrsg.): Komplexe menschliche Informationsverarbeitung, Beiträge zur Tagung "kognitive Psychologie", im April 1978 in Hamburg, Bern - Stuttgart - Wien 1979, S. 249-259.
- Wahlster, W.: Natürlichsprachliche Argumentation in Dialogsystemen - KI-Verfahren zur Rekonstruktion und Erklärung approximativer Inferenzprozesse, Informatik-Fachberichte 48, Berlin - Heidelberg - New York 1981 (a).
- Wahlster, W.: Implementing Fuzzyness in Dialogue Systems, in: Rieger, B.B. (Hrsg.): Empirical Semantics I - A Collection of New Approaches in the Field, Bochum 1981, S. 259-280 (b).
- Weiss, J.J. u. M.L. Donnell: A General Purpose Policy Capturing Device Using Fuzzy Production Rules, in: Gupta, M.M., R.K. Ragade u. R.R. Yager (Hrsg.): Advances in Fuzzy Set Theory and Applications, Amsterdam - New York - Oxford 1979, S. 589-604.
- Weizenbaum, J.: Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft, 3. Aufl., Frankfurt 1982.
- Wenstop, F.: Exploring Linguistic Consequences of Assertions in Social Sciences, in: Gupta, M.M., R.K. Ragade u. R.R. Yager (Hrsg.): Advances in Fuzzy Set Theory and Applications, Amsterdam - New York - Oxford 1979, S. 501-518.
- Wenstop, F.: Quantitative Analysis with Linguistic Variables, in: Fuzzy Sets and Systems, Vol. 4 (1980), S. 99-115.
- Whalen, T. u. B. Schott: Issues in fuzzy production systems, in: International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 19 (1983), S. 57-71.
- Winand, U.: Spieltheorie und Unternehmungsplanung - Anwendungsbedingungen und konzeptionelle Erweiterungen spieltheoretischer Modelle und Lösungsmethoden für betriebswirtschaftliche Planungsprozesse, Berlin 1978.
- Yager, R.R.: Linguistic models and fuzzy truths, in: International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 10 (1978), S. 483-494.
- Yager, R.R.: Querying knowledge base systems with linguistic information via knowledge trees, in: International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 19 (1983), S. 73-95.
- Zadeh, L.A.: Fuzzy Sets, in: Information and Control, Vol. 8 (1965), S. 338-353.
- Zadeh, L.A.: Fuzzy Algorithms, in: Information and Control, Vol. 12 (1968), S. 94-102 (a).

- Zadeh, L.A.: Probability Measures of Fuzzy Events, in: Journal of Mathematical Analysis and Applications, Vol. 23 (1968), S. 421-427 (b).
- Zadeh, L.A.: A Fuzzy Set Theoretic Interpretation of Linguistic Hedges, in: Journal of Cybernetics, Vol. 2 (1972), No. 3, S. 4-34.
- Zadeh, L.A.: Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes, in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-3 (1973), S. 28-44.
- Zadeh, L.A.: Fuzzy logic and its application to approximate reasoning, in: Rosenfeld, J.L. (Hrsg.): Information Processing 74, Proceedings of IFIP Congress 74, 5.-10.08.1974 in Stockholm, Amsterdam - Lodon - New York 1974, S. 591-594.
- Zadeh, L.A.: The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning, in: Information Sciences, Vol. 8 (1975), S. 199-245 u. 301-357, u. Vol. 9 (1976), S. 43-80.
- Zadeh, L.A.: A fuzzy-algorithmic approach to the definition of complex or imprecise concepts, in: International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 8 (1976), S. 249-291.
- Zadeh, L.A.: PRUF - a meaning representation language for natural language, in: International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 10 (1978), S. 395-460.
- Zadeh, L.A.: A Theory of Approximate Reasoning, in: Hayes, J.E., D. Michie u. L.I. Mikulich (Hrsg.): Machine Intelligence 9: Machine Expertise and the Human Interface, New York - Chichester - Brisbane - Toronto 1979, S. 149-194.
- Zadeh, L.A.: Test-Score Semantics for Natural Languages and Meaning Representation via Pruf, in: Rieger, B.B. (Hrsg.): Empirical Semantics I - A Collection of New Approaches in the Field, Bochum 1981, S. 281-349.
- Zadeh, L.A.: The Role of Fuzzy Logic in the Management of Uncertainty in Expert Systems, in: Fuzzy Sets and Systems, Vol. 11 (1983), S. 199-227.
- Zebda, A.: The Investigation of Cost Variances: A Fuzzy Set Theory Approach, in: Decision Sciences, Vol. 15 (1984), S. 359-388.
- Zemankova-Leech, M. u. A. Kandel: Fuzzy relational data bases - a key to expert systems, Köln 1984.
- Zhaozhong, C. u. L. Dsosu: Some Problems in Fuzzy Probability, in: Gupta, M.M. u. E. Sanchez (Hrsg.): Fuzzy Information and Decision Processes, Amsterdam - New York - Oxford 1982, S. 67-70.
- Zimmer, A.C.: A model for the interpretation of verbal predictions, in: International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 20 (1984), S. 121-134.
- Zimmermann, H.-J.: Optimale Entscheidungen bei unscharfen Problemstellungen, in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 27. Jg. (1975), S. 785-796.

Zimmermann, H.-J.: Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions, in: Fuzzy Sets and Systems, Vol. 1 (1978), S. 45-55.

Zimmermann, H.-J.: Zur Darstellung und Lösung schlecht strukturierter Entscheidungsprobleme (I) u. (II), in: Das Wirtschaftsstudium, 8. Jg. (1979), S. 72-77 bzw. 125-129.

Zimmermann, H.-J.: Using fuzzy sets in operational research, in: European Journal of Operational Research, Vol. 13 (1983), S. 201-216.

Zimmermann, H.J., L.A. Zadeh u. B.R. Gaines (Hrsg.): Fuzzy Sets and Decision Analysis, Amsterdam - New York - Oxford 1984.

Zimmermann, H.-J.: Fuzzy Set Theory - and Its Applications, Boston - Dordrecht - Lancaster 1985 (a).

Zimmermann, H.-J.: Fuzzy Sets in Operations Research - Eine Einführung in Theorie und Anwendung, in: Ohse, D., A.C. Esprester, H.-U. Küpper, P. Stähly u. H. Steckhan (Hrsg.): Operations Research Proceedings 1984, DGOR - Vorträge der 13. Jahrestagung, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1985, S. 594-608 (b).

Verzeichnis der Arbeitspapiere des
Seminars für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre,
Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft der
Universität zu Köln

(bis Sommer 1986: Seminar für Allgemeine
Betriebswirtschaftslehre und Fertigungswirtschaft)

- Nr. 1: ZELEWSKI,STEPHAN: Entscheidungsmodelle zur Verschrottung von Fertigungshilfsmitteln, Köln 1984.
- Nr. 2: KERN,WERNER; ZELEWSKI,STEPHAN: Ein Zuordnungsmodell für Meßgeräte in Energie-Informationssystemen, Köln 1985.
- Nr. 3: KERN,WERNER; PETERS,ULRICH: Energiebewirtschaftung in industriellen Betrieben - Bericht über eine Befragung, Köln 1985.
- Nr. 4: BOOS,JOCHEN: Lokalisierung von Meßstellen für ein Informations-System zur Energiebewirtschaftung in industriellen Betrieben - Entwicklung eines OR-Modells mit einem Lösungsvorschlag -, Köln 1986.
- Nr. 5: ZELEWSKI,STEPHAN: Ansätze der Künstlichen Intelligenz-Forschung zur Unterstützung der Netzplantechnik, Köln 1986.
- Nr. 6: ZELEWSKI,STEPHAN: Schnittstellen bei betrieblichen Informationssystemen - eine Darstellung aus systemtheoretischer und betriebswirtschaftlicher Sicht -, Köln 1986.
- Nr. 7: ZELEWSKI,STEPHAN: Konzepte für Frühwarnsysteme und Möglichkeiten zu ihrer Fortentwicklung durch Beiträge der Künstlichen Intelligenz, Köln 1986.
- Nr. 8: ZELEWSKI,STEPHAN: Das Konzept der unscharfen Mengen unter besonderer Berücksichtigung ihrer linguistischen Interpretation - eine Lösung für unscharfe Probleme? -, Köln 1986.
- Nr. 9: ZELEWSKI,STEPHAN: Der tau-Wert: Aspekte eines neueren spieltheoretischen Ansatzes zur fairen Preisbildung aus kostenrechnerischer Perspektive, Köln 1986.
- Nr. 10: ZELEWSKI,STEPHAN: Competitive Bidding aus der Sicht des Ausschreibers - ein spieltheoretischer Ansatz -, Köln 1986.
- Nr. 11: ZELEWSKI,STEPHAN: Netztheoretische Ansätze zur Konstruktion und Auswertung von logisch fundierten Problembeschreibungen, Köln 1986.
- Nr. 12: ZELEWSKI,STEPHAN: Netztheoretische Fundierung von parallelen Algorithmen für die Lösung linear-ganzzahliger OR-Modelle, Köln 1986.

- Nr. 13: ZELEWSKI,STEPHAN: Intelligente Informationsbanksysteme - benutzerfreundliche Instrumente für die Informationsvermittlung? -, Köln 1986.
- Nr. 14: ZELEWSKI,STEPHAN: Komplexitätstheorie - ihr Beitrag zur Klassifizierung und Beurteilung von Problemen des Operations Research -, Köln 1986.
- Nr. 15: ZELEWSKI,STEPHAN: Der Informationsbroker, Köln 1986.
- Nr. 16: ZELEWSKI,STEPHAN: Soziale Verantwortbarkeit von Technologien, Köln 1986.
- Nr. 17: ZELEWSKI,STEPHAN: Expertensysteme - Übersicht über Konzeptionen und betriebswirtschaftliche Anwendungsmöglichkeiten -, Köln 1986.
- Nr. 18: ZELEWSKI,STEPHAN: Das Leistungspotential der Künstlichen Intelligenz für Industrieanwendungen - Ein Überblick -, Köln 1987.
- Nr. 19: ZELEWSKI,STEPHAN: Expertensysteme im "Büro der Zukunft" - Ein Überblick über Anwendungsperspektiven und Bewertungsaspekte -, Köln 1987.