Simulation unternehmerischer Strategien unter Berücksichtigung eines Fuzzy-Logic-Controllers

CHRISTIAN BURMESTER, Freising-Weihenstephan

Abstract

A program running under MS-Windows 3.1 can be used by an entrepreneur for evaluating different strategies. The program helps the user to plan and to analyse his "firm" - he interacts with the system and learns from experience. The user first defines the production and assets. The decision algorithm can be formulated as a fuzzy-logic-controller. The rules are expressed like the humans think; e. g. "If the price is high and there is high liquidity than make a big investment." It can be tested whether the algorithm avoids the firm's bankruptcy and keep it existent when it is confronted with an uncertain price.

Unternehmerische Entscheidungen in der Landwirtschaft sowie im gewerblichen Bereich werden zunehmend komplexer, da Reglementationen verschärft werden und der Wettbewerb intensiver wird. Die Zahl der möglichen unternehmerischen Entwicklungspfade nimmt zu, so daß Hilfsmittel zur Entscheidungsunterstützung (Decision-Support) notwendig sind. Als ein solches Instrument ist das Simulationsprogramm *Sim & Surv* unter der graphischen Benutzeroberfläche MS-Windows 3.1 entwickelt worden, das die Auswirkungen unternehmerischer Strategien unter der Prämisse unsicherer zukünftiger Daten analysieren hilft. Schwerpunkt ist es, Entscheidungsalgorithmen zu formulieren, die gegenüber unsicheren Daten robust sind und die Existenz des Unternehmens langfristig sichern.

Formulierung des Modells

Aus kybernetischer Sicht ist das Unternehmen als Regelkreis aufzufassen (vgl. BERG et al., 1988). Die Regelstrecke ist das Unternehmen; das Stellglied sind unternehmerische Aktivitäten: Erweiterungs- und Rationalisierungsinvestitionen, Desinvestitionen, Marketingaktivitäten usw. Der Regler ist die Entscheidungsinstanz des Unternehmens, also z. B. der Eigentümer oder der bzw. die angestellten Manager. Anhand der Regelung wird versucht, das Unternehmen möglichst nahe an die Zielsetzung des Entscheidungsträgers heranzuführen, z. B. die Existenz langfristig aufrechtzuerhalten. Auch in der Realität führt der Manager sein Unternehmen, indem er Regelstrategien ausführt - ohne daß er sich evtl. des Typs der Regelstrategie bewußt ist. Er wird die Zustände der Vergangenheit analysieren, die Gegenwart beobachten und die zukünftige Entwicklung prognostizieren, indem er sich vielleicht bestimmter Kalkulationsmethoden bedient. Die Resultate werden fortlaufend mit der Realität abgeglichen und bei Datenänderungen aktualisiert. Dieses Feed-Back ist das charakterisierende Element einer Regelung.

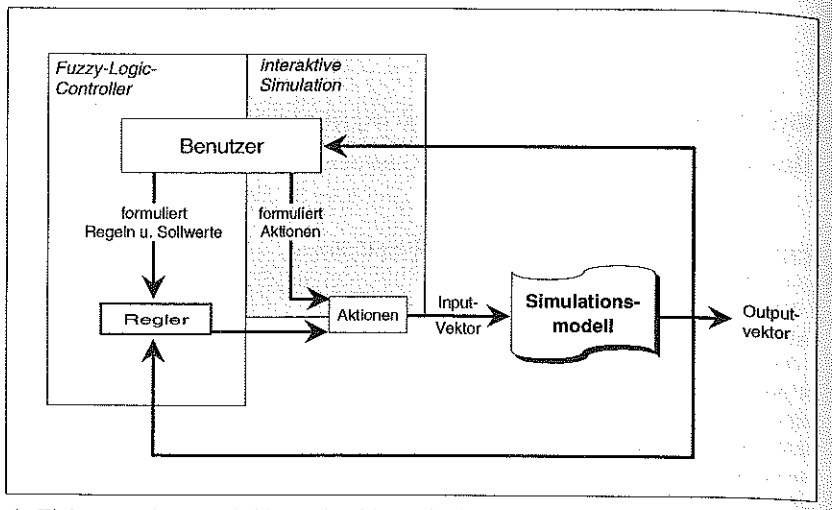

Abb. 1: Einbettung des Entscheidungsalgorithmus in das Simulationsprogramm

Der Benutzer des Programms hat die Wahl (vgl. Abb. 1), entweder

- selbst als Regler aufzutreten und interaktiv mit dem Programm zu kommunizieren, um Aktionen (Erweiterungs-, Rationalisierungsinvestitionen, Konsumentnahmen etc.) zur Laufzeit vorzunehmen,
- oder aber seine Strategien in eine Regelstruktur "wenn ... dann" umzusetzen. Dieser Fall soll weiter verfolgt werden. Der Regler ist im Programm nur in seiner prinzipiellen Struktur implementiert; die Regeln, nach denen das Programm auf Abweichungen der Soll- von den Istwerten reagieren soll, muß der Anwender nach seinen Vorstellungen selbst formulieren. Als Algorithmus wird ein Fuzzy-Logic-Controller genutzt (fuzzy (engl.): unscharf, weich, schwammig), da diese Methode den Vorteil aufweist, linguistische Variablen wie z. B. "groß", "klein" zu verarbeiten. Die Regelstruktur entspricht dadurch dem menschlichen Sprachempfinden. Anhand des Simulationslaufes kann dann überprüft werden, welche Strategien die Zielsetzung am besten erreichen, und zwar unter der Prämisse unsicherer Preise.

Die Simulation wird in Form einer **Monte-Carlo-Simulation** durchgeführt. Bei dieser Methode wird ein mathematisches Modell mit einer künstlichen Stichprobe von Werten wiederholt berechnet. Die Stichprobe wird durch einen Pseudo-Zufallsgenerator erzeugt, welcher gleichverteilte Werte zieht (vgl. ZIMMERMANN, 1989, S. 331 f.). Das Simulationsobjekt ist die mathematische Abbildung eines Unternehmens. Es beinhaltet die Komponenten *Produktion* und *Buchführung*. Diese beiden Elemente werden im folgenden näher beschrieben:
Für den Produktionsprozeß ist eine bestimmte Anzahl an Investitionsgütern notwendig. Der Programmanwender definiert zunächst für jedes benötigte Investitionsgut den Stand der Technologie. Hierzu zählen die Angaben für die Kapazität des Objektes (z. B. in Stunden/Tag, Arbeitsbreite [m], Durchsatz [l/h] etc.), die Nutzungs- und Abschreibungsdauer, den Kaufpreis, die Fixkosten und Parameter für die variablen Kosten. Ein Investitionsgut kann während der Produktion bis zu seiner maximalen Kapazität genutzt werden; die variablen Kosten steigen linear mit der Nutzungsintensität an. Ist die Kapazität erschöpft und

soll die Produktion dennoch erweitert werden, so müssen weitere Investitionsgüter angeschafft werden. Benötigt ein Produkt mehrere verschiedene Investitionsgüter zur Herstellung, so wird die maximale Produktionsmenge durch denjenigen Produktionsfaktor begrenzt, dessen Kapazität zuerst erschöft ist.

Die Produkte werden kontinuierlich erstellt und auf einem fiktiven Markt verkauft. Der Saldo von Erlösen und Aufwendungen für Vorleistungen sei als Überschuß bezeichnet. Dieser fließt in die G&V-Rechnung ein, und nach Abschluß einer Produktionsperiode wird unter Berücksichtigung der kalkulatorischen Abschreibungen der Gewinn berechnet. Vom Cash flow (Gewinn + Abschreibungen) sind die Steuerlast, Konsumentnahmen und Tilgungszahlungen des Fremdkapitals zu tätigen. Das Residuum wird in der Kasse thesauriert und steht als Liquiditätsreserve sowie für investive Maßnahmen zur Verfügung. Sind die Zahlungsverpflichtungen nicht zu erfüllen, können kurzfristige Kredite aufgenommen werden. Zusammen mit den langfristigen Krediten, die Investitionsprojekten vorbehalten sind, erhöhen sie die Verschuldung.

Das Unternehmen muß den Konkurs anmelden, wenn entweder das Eigenkapital aufgezehrt ist oder bei Liquiditätsengpässen keine kurzfristigen Kredite mehr aquiriert werden können, weil die Beleihungsgrenze des Unternehmens erschöpft ist.

Der Markt ist vom Anwender frei zu definieren. Wenn er eine polypolistische Struktur unterstellt, sieht er den Preis als nicht beeinflußbar an (Mengenanpasser). Da der zukünftige Preis für den Anwender unsicher sein soll, wird er über einen Zufallsgenerator erzeugt. Als Alternative ist es auch möglich, einen gesamten Markt mit mehreren Anbietern und einer unsicheren Nachfrage abzubilden.

Formulierung der Entscheidungen: Fuzzy-Logic-Controller

Die Fuzzy-Logic erweitert die klassische Mengenlehre ("crisp sets"), indem sie die Zugehörigkeit zu einer Menge nicht durch die binäre Alternative "ist Mitglied der Menge" bzw. "ist kein Mitglied der Menge" darstellt, sondern einen fließenden Übergang zwischen dieser Alternative schafft. Angenommen, die linguistische Variable "hoher Kassenbestand" sei durch die Menge aller Beträge von 30.000 DM bis 40.000 DM erklärt. Der klassische Mengenbegriff würde den Wert 29999 DM nicht mehr zur Menge des "hohen Kassenbestandes" zurechnen, da er um 1 DM zu klein ist. Der Mensch würde aber 29999 DM noch "gerade eben" zu dem hohen Kassenbestand zählen, während er andererseits 39000 DM schon als "fast sehr hoch" bezeichnen würde. Die Fuzzy-Logic erweitert den Mengenbegriff um solche unscharfen Abgrenzungen, um damit dem menschlichen Urteilsvermögen näher zu kommen. Um derartige Präferenzen abzubilden, werden die Werte mit einer Zugehörigkeitsziffer belegt, deren Intervall üblicherweise auf den Bereich 0..1 beschränkt ist. So würde z. B. der Wert 10.000 DM den Zugehörigkeitswert 0 zur Menge "hoher Kassenbestand" erhalten, 35.000 DM den Wert 1 und 50.000 DM wiederum 0, d. h. der Wert 35.000 ist mit höchster Glaubwürdigkeit als "hoch" einzustufen, die anderen beiden Zahlen gehören nicht mehr zur Menge des "hohen Kassenbestandes". Zwischen den Werten ist linear zu interpolieren, so daß sich für z. B. 20.000 DM ein Zugehörigkeitswert von 0,5 ergibt.

Die unscharfe Menge wird als **Fuzzy Set** bezeichnet und definiert sich wie folgt: Ist X = {x} eine Menge von Objekten, die hinsichtlich einer unscharfen Aussage zu bewerten ist, so heißt

$$\tilde{A} = \{(x, f_A(x)) \mid x \in X\} \quad mit \quad f_A(x): X \rightarrow [0,1]$$

eine unscharfe Menge (Fuzzy Set) auf X (ROMMELFANGER, 1988, S. 8).

Mit der unscharfen Menge lassen sich analog zur klassischen Mengenlehre zahlreiche Operationen ausführen, so z. B. die Bildung der Durchschnitts- und Vereinigungsmenge, die Berechnung der arithmetischen und geometrischen Mittelwerte, das kartesische Produkt usw. (für weitere Funktionen vgl. ROMMELFANGER, 1988, ZIMMERMANN, 1989, TILLI, 1993). An dieser Stelle sollen nur die Durchschnitts- und Vereinigungsmenge besprochen werden: Es seien $\tilde{A}$ und $\tilde{B}$ unscharfe Mengen auf X. Dann bezeichnet man den Durchschnitt von $\tilde{A}$ und $\tilde{B}$ als

$$f_{\tilde{A} \cap \tilde{B}} = Min\left(f_{\tilde{A}}(x), f_{\tilde{B}}(x)\right) \quad \forall \quad x \in X.$$

Die Vereinigungsmenge lautet

$$f_{\tilde{A} \cup \tilde{B}} = Max\left(f_{\tilde{A}}(x), f_{\tilde{B}}(x)\right) \quad \forall \quad x \in X.$$

Der Durchschnitt entspricht also dem logischen "Und" und die Vereinigung dem logischen "Oder". Für diese Operationen gelten das Kommutativ-, Assoziativ-, Adjunktiv- und Distributivgesetz (vgl. ROMMELFANGER, 1988, S. 19).

Mit diesen Definitionen kann jetzt der Regelalgorithmus erläutert werden: Der Anwender definiert zunächst für seine Unternehmensstrategie Regeln, die aus linguistischen Variablen bestehen. Sie werden durch logisches Schließen auf ihren Wahrheitsgehalt hin überprüft. In einem einfachen Fall einer Erweiterungsinvestition können sie z. B. wie folgt lauten:

① kleine Investition	⇨ niedriger Preis	**und**	niedriger Kassenbestand
② mittelgroße Investition	⇨ mittlerer Preis	**und**	mittlerer Kassenbestand
③ große Investition	⇨ mittlerer Preis	**und**	hoher Kassenbestand
④ sehr große Investition	⇨ hoher Preis	**oder**	hoher Kassenbestand

Jede dieser Variablen ist durch unscharfe Mengen näher zu definieren. Der Preis und der Kassenbestand sind jeweils durch die Fuzzy Sets "niedrig", "mittel" und "hoch" zu definieren (vgl. Abb. 2 und 3). Um die Ausführungen einfach zu gestalten, werden für die Zugehörigkeitsfunktion Dreiecksverteilungen angenommen. Die Zielgröße "Investitionsvolumen" kann als prozentuale Erweiterung der bestehenden Kapazität aufgefaßt werden. Sie ist ebenfalls mit Fuzzy-Sets zu belegen, da das Investitionsvolumen unscharf ist. In dem Beispiel werden vier linguistische Bereiche ("klein", "mittel", "groß", "sehr groß") unterschieden (vgl. Abb. 4). Je feiner die Unterteilung ist, desto mehr Regeln können aufgestellt werden. Dies hat dann seine Grenzen, wenn der Anwender die einzelnen Bereiche nicht mehr differenzieren kann.

Die Regeln sollen jetzt abgearbeitet werden. Dazu sind zunächst die Zustände der beiden Variablen Preis und Kasse (die Fakten) zu bestimmen: Der Preis möge 90 DM und der Kassenbestand 45 TDM betragen. *Wie groß soll die Investition ausfallen?*

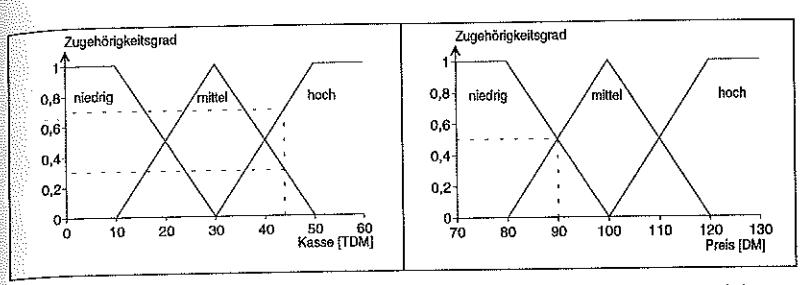

Abb. 2: Fuzzy Sets für die Variable "Kasse" Abb. 3: Fuzzy Sets für die Variable "Preis"

Für jede der Entscheidungsregeln ist zunächst der Zugehörigkeitswert der beiden Fakten für die linguistischen Variablen zu bestimmen. Für Regel Nr. 2 - "mittleres Investitionsvolumen" - ist z. B. gefordert, daß sowohl der Preis als auch der Kassenbestand "mittelgroß" sein sollen. Ist der Preis von 90 DM "mittelgroß"? Sind 45000 DM in der Kasse als "mittel" zu betrachten? Beide Fragen sind mit Einschränkungen zu bejahen: Der Zugehörigkeitswert für den Preis beträgt 0,5; derjenige für die Kasse nur 0,3 (vgl. Abb. 2 u. 3). Als nächstes sind diese beiden Werte gemäß der Regelvorschrift durch den Operator UND zu verknüpfen. Dies geschieht - wie oben definiert - durch die Auswahl des minimalen Wertes, nämlich 0,3: mittlerer Preis und mittlerer Kassenbestand ⇒ Min {0,5; **0,3**}. Somit ist die Regel 2 mit der Glaubwürdigkeit von 0,3 erfüllt.

Insgesamt ist bei allen vier Regeln nach demselben Muster zu verfahren. Lediglich bei Regel 4 ist eine ODER-Verknüpfung vorgesehen, so daß der maximale Wert zu suchen ist. Die Ergebnisse aller vier Regeln sind wie folgt:

① Min {0,0; 0,0} ② Min {0,5; **0,3**} ③ Min {**0,5**; 0,7} ④ Max {0; **0,7**}

Wie werden diese Ergebnisse nun in einen scharfen Wert transformiert, der das Investitionsvolumen angibt? Hierzu existieren zwei Methoden: die **Max-Prod-** sowie die **Max-Min-Inferenz** (vgl. TILLI, 1993, S. 142 f., v. ALTROCK, 1991, S. 193). Da die Ergebnisse beider Inferenzen weitgehend identisch sind, soll an dieser Stelle nur die Max-Prod-Inferenz erläutert werden. Bei ihr wird der Erfüllungsgrad der Regeln mit der Zugehörigkeitsfunktion der Zielgröße multipliziert, so daß sich graphisch für alle Erfüllungsgrade < 1 eine gestauchte Zugehörigkeitsfunktion ergibt (vgl. Abb. 5). Für die Regel 2 bedeutet dies z. B.: Der Zugehörigkeitswert von 0,3 für die Regel 2 ("Max", d. h. maximaler Zugehörigkeitswerte) wird mit der Zugehörigkeitsfunktion "mittleres Investitionsvolumen" multipliziert ("Prod"). Dadurch ergibt sich eine gestauchte Dreiecksverteilung (vgl. Abb. 5). Für die weiteren Regeln ist entsprechend zu verfahren, so daß sich ein Bild wie in Abb. 5 ergibt. Der schraffierte Bereich bildet den Erfüllungsgrad aller Regeln ab.

Wie bestimmt sich jetzt das Investitionsvolumen? Hierzu wird eine Art "Erwartungswert" gebildet: der Schwerpunkt der gesamten schraffierten Fläche (vgl. TILLI, 1993, S. 144). Das Lot des Schwerpunktes auf die x-Achse ergibt das Investitionsvolumen, die Projektion auf die y-Achse den mittleren Zugehörigkeitsgrad der Zielgröße. In dem Beispiel sollte demnach die Investition das Produktionsvolumen um ca. 15,5 % erweitern.

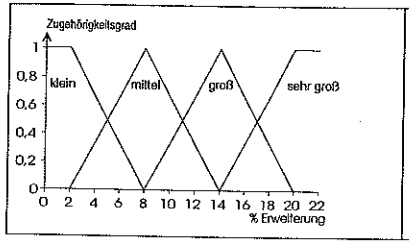

Abb. 4: Fuzzy Sets der Zielgröße "Investition"

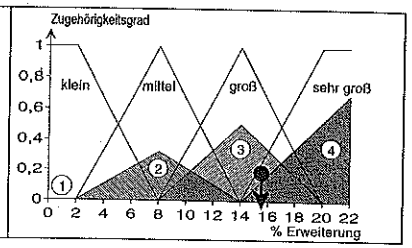

Abb. 5: Defuzzifizierung der Zielfunktion

Implementierung in das Modell

Welchen Nutzen kann der Anwender aus dem Simulationsprogramm ziehen? Er kann sich sein "Unternehmen" selbst zusammenstellen und spielerisch testen, ob seine Strategien den eigenen Vorstellungen entsprechen. Z. B.: Wie sollte man bei einem Preisverfall reagieren? Sollte die Produktion rationalisiert oder vielleicht die Produktionsmenge ausgedehnt werden, um economies of scale auszunutzen? Sollten die Investitionsgüter lieber gekauft oder geleast werden? Welche Auswirkungen kann ein Verdrängungswettbewerb zeigen; d. h. führt er eher zum Ausscheiden der Konkurrenten oder vielleicht zum eigenen Konkurs? Diese und ähnliche Fragen können simuliert werden. Da die Dateneingabe über Dialogboxen erfolgt, kann der Anwender seine Daten, Parameter und Regeln per Maus- oder Tastatureingaben definieren. Bei den linguistischen Variablen werden die Fuzzy-Sets graphisch in der Dialogbox angezeigt, so daß die Werte bei der Eingabe auf ihre Plausibilität hin überprüft werden können. Die Zusammenstellung der Regeln kann über Mauseingaben erfolgen, indem die linguistischen Variablen, deren Fuzzy-Sets und verschiedene Operatoren über die Maus ausgewählt und zusammengestellt werden können. Es sind komplexe Regeln möglich, da beliebige Klammerregister gesetzt werden können.

Literatur

ALTROCK, C. V. (1991): Über den Daumen gepeilt - Fuzzy Logic: Scharfe Theorien der unscharfen Mengen, in: C't Magazin für Computertechnik, Hannover, S. 188-205.

BERG , E., HARSH, S. B., KUHLMANN, F. (1988):Kontrolltheoretische Konzepte als Grundlagen für die Entwicklung von Entscheidungshilfsmitteln, in: Agrarwirtschaft, (34), H. 7, S. 206-212.

ROMMELFANGER, H. (1988): Entscheiden bei Unschärfe - Fuzzy Decision Support-Systeme, Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York.

TILLI, TH. (1993): Fuzzy-Logik - Grundlagen, Anwendungen, Hard- und Software, München, 3. Auflage.

ZIMMERMANN, H. J. (1991): Fuzzy Set Theory and its Applications, Boston, Dordrecht, London, 2. Auflage.

ZIMMERMANN, W. (1989): Operations Research - Quantitative Methoden zur Entscheidungsvorbereitung, München, 4. Auflage.