

**ARBEITSBERICHT
PROZESS- UND PRODUKT-
ENGINEERING:**

13 Der Einsatz vagen Wissens bei Entscheidungsprozessen.

Der FuzzyStrategyFinder

Thomas Breuer, Hans Vollbrecht und Andreas Juen

13.1 Einleitung

In diesem Beitrag entwickeln wir erstens ein Modell zur Formalisierung und Nutzbarmachung vagen Wissens bei komplexen Entscheidungsprozessen und zweitens den Prototypen eines Programms zur Optimierung von Entscheidungen. Wesentliche Besonderheiten des Modells sind einerseits die Anwendung von Methoden der Fuzzy Logic zur Formalisierung des vagen Wissens und andererseits die Verwendung von Wirkungsgefügen zur Beschreibung des wechselseitigen Einflusses der Systemteile. Dieses Modell kann als Sprache der Herstellung eines gemeinsamen Systemverständnisses verschiedener an Entscheidungsprozessen beteiligter Personen dienen. Dieses Modell liegt einem Programm zur Optimierung von Entscheidungen auf Basis vagen Wissens zugrunde. Es erlaubt die Definitionen von Szenarien und die Analyse der Auswirkungen verschiedener Handlungsoptionen in diesen Szenarien. Schließlich ermittelt es die optimale Handlungsoption.

Eine in der Praxis komplexer Entscheidungsfindungsprozesse häufig auftretende Situation ist die, dass die Entscheidungsträgerin ein sicheres Gespür für die richtige Entscheidung besitzt, sie aber nicht so begründen kann, dass sie quantitativ verifizierbar wird: es fehlt ein formales Modell. Anders gesagt - die Begründung ist nicht in der dafür geeigneten Sprache formuliert. Eine gute Unternehmerin kann sehr wohl wissen, in welchen Situationen eine gezielte Marketingaktion in welcher Zeitspanne einen profitablen Effekt bewirkt. Aber muss sie deshalb die mathematischen Beschreibungsmittel etwa der stochastischen Optimierung kennen, mit denen die Auswirkungen zufälliger Schwankungen von Rohstoffpreisen auf die Resultate der Entscheidung quantifiziert werden können? Die Verifikation schwieriger, weitreichender Entscheidungen ist natürlich vielfach geboten, aber soll die Entscheidungsträgerin deshalb eine formale Sprache zur Beschreibung komplexer Systemzusammenhänge erlernen müssen? Die im Folgenden

vorgestellte Arbeit hat zum Ziel, eine Brücke zwischen auf Erfahrung beruhendem, in natürlicher Sprache formulierten Expertenwissen und einer formalen, quantitativ verifizierbaren Beschreibung dieses Wissens zu schlagen.

Am Ausgangspunkt dieser Arbeit stehen zwei unbestreitbare Tatsachen: die Unersetzbarkeit vagen (d.h. nicht formalisierten, deshalb aber nicht unbedingt in Zweifel zu ziehenden) Systemverständnisses bei vielen Entscheidungsprozessen, und die Notwendigkeit, Konsequenzen von Handlungsoptionen *quantitativ* abzuschätzen. Beides resultiert aus der Verantwortungsrolle der Entscheidungsträgerin, die eben mehr benötigt als nur ein gutes Vertrauensverhältnis zu den "Berechnungsexperten". Vor allem die Nachvollziehbarkeit verlangt, dass das den Berechnungen zugrunde liegende formale Modell von beiden beteiligten Rollen intellektuell erfassbar ist, wenn auch aus verschiedenen Perspektiven: die Entscheidungsträgerin muss über ihr vages Systemverständnis ihre Erfahrung darin wieder finden können, und die Berechnungsexperten müssen darin erkennen können, ob bei der Systemmodellierung die Regeln für eine widerspruchsfreie und vollständige Problemformulierung eingehalten wurden.

Eine viel versprechende Methode zu diesem Ziel stellt die so genannte *Fuzzy Logic* (Kahlert/Frank 1994, S. 21-28, S. 43-52, S. 101-102) aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz dar. In ihr ist es möglich, logische Zusammenhänge quantitativ vage definierter Fakten so zu formulieren, dass daraus eine quantitative Schlussfolgerung gezogen werden kann. Eine quantitativ vage Beschreibung bewegt sich etwa in den Größen *sehr hoch*, *hoch*, *normal* etc., und unscharfe logische Aussagen lauten etwa:

- ein *hoher* Produktpreis UND eine *niedrige* Konkurrenz zusammen haben *geringen* Einfluss auf die Nachfrage
- ein *hoher* Produktpreis UND eine *normale* Konkurrenz zusammen haben *negativen* Einfluss auf die Nachfrage
- ein *hoher* Produktpreis UND eine *hohe* Konkurrenz zusammen haben *sehr negativen* Einfluss auf die Nachfrage

Ursprünglich für die Regelungstechnik eingesetzt, scheint die Fuzzy Logic allgemeiner nutzbar zu sein, z.B. für die Formulierung von Expertenwissen in der Medizin, der Betriebswirtschaft, oder der Ökonomie. Mehr Detail zum konkreten Einsatz von Fuzzy Logic im Wirtschaftsbereich wird im nächsten Kapitel bei der Beschreibung unseres Prototypen gegeben.

Ein weiteres Methodenparadigma für diese Arbeit bildet die *graphische Darstellung* von Wissen über Systemdynamik als gemeinsame Sprache von Entscheidungsträgerin und Berechnungsexperten. Die anerkanntermaßen überlegene Ausdruckskraft graphischer Beschreibungen dynamischer Zusammenhänge gegenüber verbalen Beschreibungen hat zu standardisierten Grafiken in so verschiedenen Disziplinen wie dem Software Engineering und der therapeutischen Psychologie geführt – in ersterem etwa zu Ablaufdiagrammen von durch Software zu unterstützenden Geschäftsprozessen, in letzterem etwa zu Mindmaps, um freie Assoziationen zu dokumentieren.

Aus der Kombination von Fuzzy Logic und einer graphischen Darstellungsform dynamischer Einflussbeziehungen ist in der vorliegenden Arbeit ein rechnerbasierter Prototyp – der *FuzzyStrategyFinder* – entstanden, der im nächsten Kapitel eingehend vorgestellt wird. Zuvor sollen aber noch mögliche Einsatzszenarien eines solchen Werkzeuges, und die daraus sich ergebenden Aufgaben besprochen werden, die es zu lösen gilt, um den eingangs geschilderten Anforderungen gerecht zu werden.

Für das Modell sind prinzipiell zwei Einsatzmöglichkeiten denkbar:

1. Verifikation des Systemverständnisses, und
2. Optimierung von Entscheidungen.

Im Rahmen der ersten Einsatzmöglichkeit wird eine Entscheidungsträgerin mit (vagem) Expertenwissen über die Systemdynamik ihr Wissen explizieren in Form von Einfluss- und Zielgrößen, Wirkungs-/Einflusszusammenhängen zwischen diesen, und dann anhand von „What-if“-Fragen¹ an das so erstellte Modell überprüfen, ob das Modell korrekt ist, oder aber auch, ob ihr eigenes Systemverständnis valid ist. In diesem Szenario kann als wichtiger Nebeneffekt auch ein Know-How-Transfer zwischen Entscheidungsträgerinnen stattfinden, die gemeinsam in einer Workshop-Situation ein Modell erstellen.

Im Rahmen der zweiten Einsatzmöglichkeit wird eine Entscheidungsträgerin oder eine Berechnungsexpertin anhand eines zuvor validierten Modells die manipulierbaren Einflussgrößen mit maschineller Unterstützung so optimieren, dass eine Zielgröße maximiert/minimiert wird. Dies

¹ Eine typische „What-if“-Frage besteht in der Berechnung einer Zielgröße, wenn ausgewählte Einflussgrößen verändert werden – also etwa im eingangs erwähnten Beispiel die Wirkung einer Preiserhöhung auf den Gewinn.

kann dann auch unter verschiedenen Szenarien nicht beeinflussbarer Eingangsgrößen (z.B. Rohstoffpreise) geschehen.

Aus diesen beiden grundsätzlichen Einsatzmöglichkeiten ergeben sich folgende Anforderungen an eine brauchbare Methode:

- a. eine der eingangs beschriebenen kommunikativen Brückenfunktion angemessene *Semantik* der Modellelemente, und
- b. besondere *Erklärungsfähigkeiten* des Modells und des Werkzeugs, um das Zustandekommen eines berechneten Optimierungsergebnisses nachvollziehbar zu machen.

Während der Einsatz von Fuzzy Logic zur quantitativen Beschreibung von Systemvariablen (im graphischen Modell als Knoten eines Graphen angegeben) in der vorliegenden Arbeit keine schwierige Wahl darstellte, ist die Semantik der Wirkungsbeziehungen zwischen diesen Variablen (im graphischen Modell Systemvariablen verbindende Pfeile) erheblich schwieriger und derzeit noch nicht vollständig festgelegt. Im bisher realisierten Prototyp kann diese Semantik ganz allgemein als „*Änderung der Größe A zum Zeitpunkt T beeinflusst Änderung der Größe B zum Zeitpunkt $T + \Delta t$* “ (A und B sind Systemvariablen) unter einem Zeitprofil beschrieben werden. Dabei wird definiert, wie der Einfluss von Änderungen unscharfer Werte von A auf Änderungen unscharfer Werte von B aussieht, wie oben in den Beispielen angegeben, und in einem Zeitprofil über einige wenige zukünftige Zeitschritte können Variationen dieses Einflusses im Lauf der Zeit zur einfachen Modellierung von Systemdynamik beschrieben werden. Diese Einflüsse können entweder wieder in „unscharfer“ Weise angegeben werden (wie *verstärkend, stark verstärkend, vermindern, stark vermindern*), oder aber in einer Funktionstabelle explizit für sämtliche Werte der Einflussgrößen die bewirkten Ausgangswerte angegeben werden. Bei mehreren gleichzeitigen Einflussgrößen können vordefinierte logische Verknüpfungen (wie UND, ODER) ausgewählt werden. Näheres wird im nächsten Kapitel erklärt.

Offen bleibt, ob und wie weitere semantische Möglichkeiten wie etwa Systemvariablen, die Fakten/Ereignisse statt wie bisher Größen ausdrücken, kausale Beziehungen zwischen Systemvariablen, oder Beziehungen (Pfeile) auf andere Beziehungen statt wie bisher nur auf Systemvariablen einsetzbar sind.

Was hingegen die Semantik der Systemvariablen betrifft, so können Ziel-Variablen (z.B. Gewinn), externe, nicht manipulierbare Einfluss-Variab-

len (z.B. Rohstoffpreise), Entscheidungs-Variablen (z.B. Verkaufspreis) und interne Systemzustands-Variablen (z.B. Lagerstand) unterschieden werden. Vor allem letztere sind notwendig, um dem Modell eine gute Erklärungsfähigkeit zu geben (Anforderung b, siehe oben). Eine weitere, wichtige Möglichkeit des Ansatzes zur Sicherstellung der Erklärungsfähigkeit besteht in der interaktiv ausführbaren Simulation (Zeitschritt für Zeitschritt) unter Beobachtung der Wirkungen sämtlicher Einflüsse auf interne Systemzustands- und Ziel-Variablen. Auch dies wird im Detail im nächsten Kapitel beschrieben.

13.2 Ein Beispiel

Die Einsatzmöglichkeiten des Programms wollen wir an einem Beispiel erläutern. Versetzen wir uns in die Rolle einer Entscheidungsträgerin, die mit dem Verkauf eines Produktes den Gewinn ihres Unternehmens erhöhen will. Um dieses Ziel zu erreichen, kann sie den Preis des Produktes verändern und Marketingmaßnahmen verstärken oder reduzieren.

Um eine Beziehung zwischen Marketing und Produktpreis einerseits und Gewinn andererseits herzustellen, macht die Entscheidungsträgerin folgende Überlegungen:

- Der Gewinn meines Unternehmens hängt ab vom Gewinn pro Stück und von der verkauften Menge.
- Der Gewinn pro Stück hängt ab vom Verkaufspreis und von den Kosten pro Stück.
- Die Kosten pro Stück hängen ab von der Verkaufsmenge.
- Die verkaufte Menge (Nachfrage) hängt ab vom Verkaufspreis, von den Marketingmaßnahmen und von der Konkurrenzsituation.

Diese Zusammenhänge sind in Abb. 1 dargestellt werden.

In die leeren Kästchen kann die Art des Einflusses einer Größe auf eine andere spezifiziert werden. Ihre Erfahrung über den Zusammenhang von Marketingmaßnahmen und Nachfrage formuliert die Entscheidungsträgerin folgendermaßen:

Marketing zur Zeit T beeinflusst die Nachfrage zur Zeit T positiv.

Marketing zur Zeit T beeinflusst die Nachfrage zur Zeit $T + 1$ stark positiv.

Marketing zur Zeit T beeinflusst die Nachfrage zur Zeit $T + 2$ positiv

Marketing zur Zeit T beeinflusst die Nachfrage zur Zeit $T + 3$ nicht.

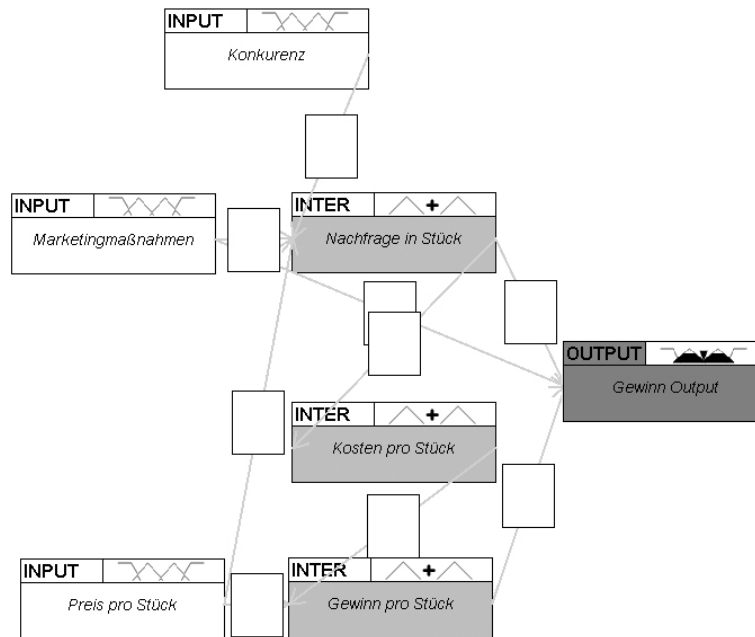


Abbildung 1: Einflussgrößen auf Gewinn

Diese Zusammenhänge werden nun graphisch folgendermaßen dargestellt:

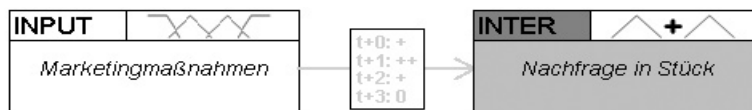


Abbildung 2: Zusammenhang der Variablen

Mit einem „positiven“ Einfluss sind hier gleichgerichtete Änderungen gemeint. „Negativer“ Einfluss bezeichnet gegenläufig gerichtete Änderungen. Die Aussage „Marketing zur Zeit T beeinflusst die Nachfrage zur Zeit T positiv“ bedeutet „Bei unveränderten Werten der anderen Größen führt eine Steigerung der Marketingmaßnahmen zur Zeit T zu einer Steigerung der Nachfrage zur Zeit T und eine Reduktion der Marketingmaßnahmen zur Zeit T zu einer Reduktion der Nachfrage zur Zeit T “.

Auf ähnliche Weise werden die Erfahrungen über die Einflüsse der anderen Größen festgehalten. Damit ergibt sich dann insgesamt dann folgendes Modell:

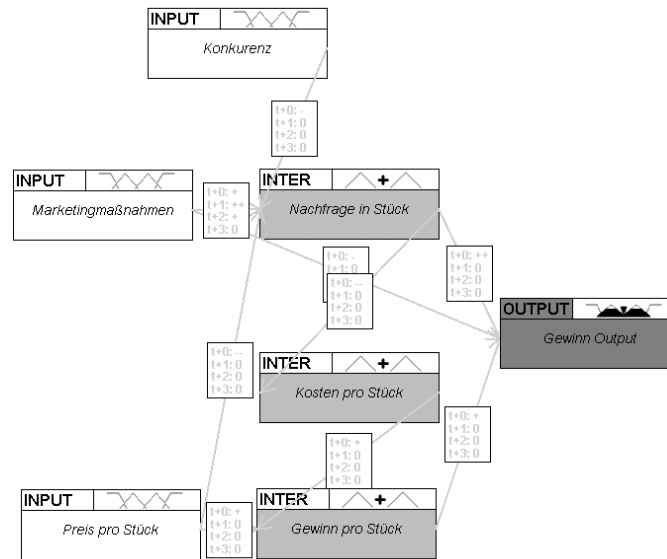


Abbildung 3: Zusammenhang von Einflussgrößen auf den Gewinn

Die Entscheidungsträgerin kann nicht alle Input-Größen beeinflussen. Ob zum Beispiel die Konkurrenz stärker oder schwächer werden wird, liegt nicht in der Hand der Entscheidungsträgerin. Für sie ist die Konkurrenzsituation ein unbeeinflussbarer und schwer vorhersagbarer Umwelteinfluss. Solche Einflüsse bringen die Entscheidungsträgerin in eine Situation der Unsicherheit. In solchen Situationen ist *Szenario-Analyse* ein wichtiges Hilfsmittel. Dabei geht es um die Frage, welche Handlung in welchem Szenario welche Konsequenzen hat.

Nun könnte die Entscheidungsträgerin zum Beispiel an Fragen folgender Art interessiert sein: *Wenn ich die Marketingmaßnahmen unverändert lasse und gleichzeitig den Verkaufspreis um 10% erhöhe, wie verändert sich dann mein Gewinn in einer Situation schwächerer Konkurrenz?*

Die Antwort auf diese Frage ist vielleicht für die Entscheidungsträgerin gefühlsmäßig nicht eindeutig. Die Erhöhung des Verkaufspreises hat nämlich zwei gegenläufige Auswirkungen auf den Gewinn: Einerseits reduziert

sie die Nachfrage, was sich negativ auf den Gewinn auswirkt, andererseits erhöht sie den Gewinn pro Stück, was sich positiv auf den Gewinn auswirkt. Ob der positive oder der negative Einfluss auf den Gewinn überwiegt, mag für die Entscheidungsträgerin nicht klar sein. Diese Art der What-if-Fragen sind ein wesentlicher Bestandteil der Szenario-Analyse.

Andere Fragen der Entscheidungsträgerin könnten sein: *Welche wäre die optimale Maßnahmenkombination in einer Situation schwächerer Konkurrenz? Wenn wir annehmen, dass sich die Konkurrenzsituation mit einer Wahrscheinlichkeit von 10% verschärft, mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% abschwächt und mit einer Wahrscheinlichkeit von 40% unverändert bleibt, welche wäre die Maßnahmenkombination mit dem höchsten erwarteten Gewinn?*

Bevor wir zeigen, mit welcher Methode Antworten auf diese Fragen gegeben werden, werden wir im nächsten Abschnitt unser Modell erläutern.

13.3 Modellbeschreibung

In diesem Abschnitt beschreiben wir die wichtigsten Bausteine des Modells. Das betrachtete System wird modelliert durch (1) Systemvariablen und (2) Einflussrelationen zwischen den Systemvariablen. Die Systemvariablen werden durch die Knoten eines Graphen dargestellt, die Einflussrelationen durch Pfeile.

13.3.1 Systemvariablen

Wir verwenden drei Arten von Systemvariablen: Input-Variablen, Output-Variablen und Inter-Variablen. Input-Variablen sind Variablen, die nicht von anderen Systemvariablen beeinflusst werden. Input-Variablen, die durch die Entscheidungsträgerin festgelegt werden können, sind *Steuer-Variablen*. Input-Variablen, die von der Entscheidungsträgerin nicht beeinflusst werden können, nennen wir *Umwelt-Variablen*. Inter-Variablen und Output-Variablen sind Variablen, die nur von Systemvariablen beeinflusst werden. Inter-Variablen und Output-Variablen unterscheiden sich nur dadurch, dass die Entscheidungsträgerin schlussendlich am Wert der Output-Variablen interessiert ist.

Die Werte der Systemvariablen werden in vier qualitative Größenangaben eingeteilt: Small, SmallMedium, LargeMedium und Large.² Damit erhält der Entscheidungsträgerin die Möglichkeit, nicht präzise quantifizierte, aber doch durch Erfahrung gewonnen qualitative Vorstellungen in ihr Modell einzubringen.

13.3.2 Einflussrelationen

Der wechselseitige Einfluss von Systemvariablen aufeinander wird durch Einflussrelationen dargestellt. Da das Wissen über die wechselseitige Beeinflussung nur vage ist, verwenden wir unscharfe Regeln wie z. B.:

- *Marketing zur Zeit T beeinflusst die Nachfrage zur Zeit T positiv.*
- *Marketing zur Zeit T beeinflusst die Nachfrage zur Zeit T + 1 stark positiv.*
- *Marketing zur Zeit T beeinflusst die Nachfrage zur Zeit T + 2 positiv*
- *Marketing zur Zeit T beeinflusst die Nachfrage zur Zeit T + 3 nicht.*

Mit einem „positiven“ Einfluss von Marketing zum Zeitpunkt T auf die Nachfrage zum Zeitpunkt $T+\Delta$, dargestellt durch „+“, werden kontrafaktische Aussagen wie

- *Wäre Marketing zur Zeit T größer, aber alle anderen Größen unverändert, dann wäre die Nachfrage zur Zeit $T+\Delta$ größer.*
- *Wäre Marketing zur Zeit T kleiner, aber alle anderen Größen unverändert, dann wäre die Nachfrage zur Zeit $T+\Delta$ kleiner.*

zusammengefasst. Mit einem „stark positiven“ Einfluss von Marketing zur Zeit T auf die Nachfrage zur Zeit $T+\Delta$, dargestellt durch „++“, werden kontrafaktische Aussagen wie

- *Wäre Marketing zur Zeit T größer, aber alle anderen Größen unverändert, dann wäre die Nachfrage zur Zeit $T+\Delta$ viel größer.*
- *Wäre Marketing zur Zeit T kleiner, aber alle anderen Größen unverändert, dann wäre die Nachfrage zur Zeit $T+\Delta$ viel kleiner.*

² Diese Einteilung ist die so genannte Fuzzifizierung. Als charakteristische Funktionen der unscharfen Mengen verwenden wir Dreiecke für SmallMedium und LargeMedium, und Trapeze für Small und Large. Die Fuzzifizierung der Systemvariablen erstellt eine unscharfe Beschreibung von Einflussrelationen zwischen den Systemvariablen.

Wenn die einfache Modellierung von Einflüssen durch Relationen dieser Art die realen Gegebenheiten nicht in ausreichender Form abbilden kann, müssen diese Einflüsse über *Regelblöcke* dargestellt werden. Ein Regelblock besteht aus einer beliebigen Anzahl an Regeln, wie zum Beispiel:

Regelblock für Größe C:

- Wenn Größe A zur Zeit T Small und Größe B zur Zeit T+1 Large ist, dann ist Größe C zur Zeit T+3 LargeMedium.
- Wenn Größe A zur Zeit T +2 SmallMedium und Größe D zur Zeit T+2 Large ist, dann ist Größe C zur Zeit T+3 Small.

...

Für jede Situation und Zeitschicht müssen diese Regeln definiert werden. Bei der Anwendung des Modells werden alle Regeln mittels der Mamdani-Inferenzregel (Kahlert/Frank 1994 S. 21-28, S. 43-52, S. 101-102) evaluiert und aggregiert.

Wenn zwischen verschiedenen Systemgrößen zum selben Zeitpunkt ein zyklischer Zusammenhang besteht, kann diesen Größen normalerweise kein Wert zugeordnet werden. Ein Beispiel:

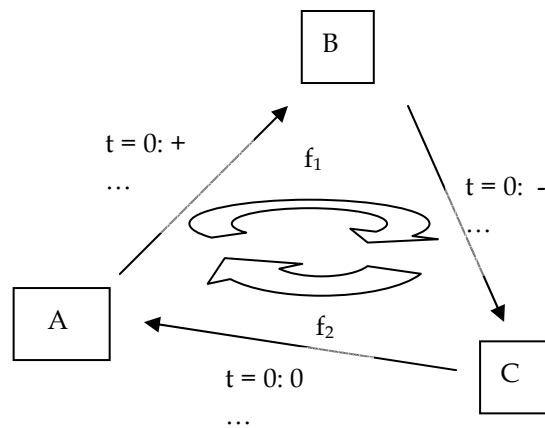


Abbildung 4: Ein zyklischer Zusammenhang zwischen Systemgrößen

Dieser Darstellung entspricht folgende Kette von Aussagen:

- 1 Wäre Größe A zum Zeitpunkt T größer, dann wäre Größe B zum Zeitpunkt T+0 größer.
- 2 Wäre Größe B zum Zeitpunkt T größer, dann wäre Größe C zum Zeitpunkt T+0 kleiner.

3 *Wäre Größe C zum Zeitpunkt T kleiner, dann wäre Größe A zum Zeitpunkt T+0 unverändert.*

Durch 1 und 2 wird ein Zusammenhang zwischen A und C hergestellt, den wir mit $f_1(A)=C$ bezeichnen. Die dritte Aussage stellt einen Zusammenhang zwischen C und A her, den wir mit $f_2(C)=A$ bezeichnen. Damit erhalten wir durch fortwährendes Einsetzen verschiedene Ausdrücke für den Wert der Größe A: $A, f_2(C), f_2(f_1(A)), f_2(f_1(f_2(C))), f_2(f_1(f_2(f_1(A))))$, etc. Diese verschiedenen Ausdrücke müssen den selben Wert ergeben, denn der Größe A können zu einem Zeitpunkt T nicht mehrere, verschiedene Werte zugeordnet werden. Dies ist nur dann der Fall, wenn $f_2(f_1(\cdot))$ die Identitätsabbildung ist, wenn also $f_2(f_1(a))=a$ für alle Werte a von A (und alle möglichen Werte von B und C).

Nicht jeder zyklische Zusammenhang zwischen Systemgrößen zum selben Zeitpunkt muss zu einem Widerspruch führen. Trotzdem wollen wir in unserem Modell solche Zyklen ausschließen.

Die Zeitmodellierung wird mittels vier Zeitschichten (Layers) vorgenommen. Diese Schichten werden mit $t=0$ bis $t=3$ bezeichnet. Die Zeit ist in diesem einfachen Modell keine unscharfe Größe. Eine Abbildung wie z.B. „ungefähr im nächsten Halbjahr investiere ich x Euro“ ist nicht möglich. Die Zeitabstände zwischen den Layern werden mit Relationen zwischen den Variablen oder Regelblöcken indirekt modelliert.

Unterschieden wird zwischen relativer, absoluter und gemischter Zeitmodellierung. Ein Beispiel für die Anwendung relativer Zeitmodellierung wäre: „Größe A zur Zeit T beeinflusst Größe B zur Zeit T+1 negativ.“ Ein Beispiel für die Anwendung absoluter Zeitmodellierung wäre: „Größe A zur Zeit 1 beeinflusst Größe B zur Zeit 2 negativ.“ Bei der relativen Zeitmodellierung werden die Regeln beim Vorrücken der Zeit automatisch um einen Zeitschritt nach vorne geschoben. Dies bedeutet, dass die Regeln nur einmalig für die vier Zeitschichten definiert werden müssen. Wenn eine absolute Zeitmodellierung gewählt wird, müssen die Regeln für jede Zeitschicht einzeln definiert werden, geben jedoch dem Anwender mehr Flexibilität für die Modellierung.

Eine Handlungsoption zu einem gewissen Zeitpunkt ist eine Festlegung von Werten der Steuer-Variablen für diesen Zeitpunkt. Eine Strategie ist eine Festlegung von Werten der Steuer-Variablen für jeden künftigen Zeitpunkt.

13.3.3 Szenarien

Ein *Szenario* ist eine mögliche Zukunft. Genauer gesagt: Ein Szenario ist ein möglicher zukünftiger Entwicklungspfad des Systems. Also legt ein Szenario für jeden zukünftigen Zeitpunkt eine Menge von Systemzuständen fest. Folgendes Szenario macht zum Beispiel Aussagen über die Systemzustände zu den zukünftigen Zeitpunkten $T+0$, $T+1$, $T+2$, $T+3$. Es könnte charakterisiert werden durch „Abschwächung der Konkurrenzsituation.“

- „Zur Zeit $T+0$ ist die Konkurrenzsituation *LargeMedium*
- Zur Zeit $T+1$ ist die Konkurrenzsituation *SmallMedium* oder *LargeMedium*.
- Zur Zeit $T+2$ ist die Konkurrenzsituation *SmallMedium*.“

Wenn der Zustand eines Systems für jeden Zeitpunkt eindeutig vorhersagbar ist, kann von jedem Szenario mit Sicherheit gesagt werden, ob es eintreten wird oder nicht. Dann ist die Beschreibung durch Szenarien zwar möglich, aber nicht interessant. Welches Szenario eintritt, ist ohnedies bekannt. Wenn hingegen der Zustand des Systems nicht eindeutig vorhersagbar ist, dann gibt es Szenarien, die eintreten können, aber nicht müssen. In diesem Fall ist es sinnvoll, mehrere - einander vielleicht ausschließende - Szenarien zu betrachten. Welches dieser Szenarien eintreten wird, ist ungewiss.

Die Möglichkeit mangelnder Vorhersagbarkeit kann mehrerer Ursachen haben: Die Zeitentwicklung des Systems kann stochastisch sein; der gegenwärtige Zustand zusammen mit der Geschichte des Systems legt die zukünftige Entwicklung nicht eindeutig fest. Dies kann zum Beispiel durch unverhersehbare Außeneinflüsse verursacht sein. Dies wird in unserem Modell durch die Umgebungs-Variablen beschrieben, deren Wert vom Entscheidungsträger weder exakt vorhergesagt noch beeinflusst werden kann. Oder es liegt zum jetzigen Zeitpunkt nur unvollständige Information über den Systemzustand vor. Die Menge der Systemvariablen ist zu klein und legt den Systemzustand nicht eindeutig fest. In unserem Modell kommt Unvorhersagbarkeit durch die Umwelt-Variablen ins Spiel, die durch die Entscheidungsträgerin nicht beeinflusst werden können.

Die Menge der Szenarien ist eine *Partition* der Menge aller zukünftigen Systementwicklungen, wenn auf jeden Fall genau eines der Szenarien (aber nicht mehrere) eintritt. Wenn in einer solchen Situation auch noch die Wahr-

scheinlichkeit der Szenarien bekannt ist, dann ist die Suche nach der optimalen Strategie ein klassisches Problem der stochastischen Optimierung. Gegeben ist eine Menge von Szenarien und deren Wahrscheinlichkeiten, eine Menge von Steuer-Variablen, und die Systemdynamik, die bei gegebenen Szenarien und bei gegebenen Werten der Steuer-Variablen die Werte der Output-Variablen bestimmt. (Es wird also vorausgesetzt, dass die Szenarien so gewählt sind, dass ein Szenario zusammen mit den Werten der Steuer-Variablen den Wert der Output-Variablen eindeutig bestimmt.) Gesucht ist die optimale Strategie, also jene Werte der Steuer-Variablen, für die der Erwartungswert der Output-Variablen (oder einer Nutzenfunktion der Output-Variablen) optimal ist.

Oft ist in der Praxis die Menge der Szenarien aber keine Partition der Menge aller zukünftigen Systementwicklungen. Die Menge der Szenarien deckt nicht die ganze Menge der zukünftigen Systementwicklungen ab, sondern vielleicht nur gewisse, interessante Teilbereiche. Oder es kann vorkommen, dass sich manche Szenarien überschneiden. Auch bei einer solchen Wahl der Szenarien ist es möglich, jene Werte der Steuer-Variablen zu berechnen, für die der wahrscheinlichkeitsgewichtete Durchschnitt der Output-Variablen-Werte in den Szenarien optimal ist. Aber dieser wahrscheinlichkeitsgewichtete Durchschnitt über die Szenarien ist nicht der Erwartungswert der Output-Variablen. Eine günstige Wahl von Szenarien zeichnet sich dadurch aus, dass für die meisten Strategien der wahrscheinlichkeitsgewichtete Durchschnitt der Output-Variablen über die Szenarien nahe am Erwartungswert der Output-Variablen liegt.

Zusammenfassend können wir also folgende zwei Kriterien für eine günstige Wahl von Szenarien festhalten:

- Ein Szenario zusammen mit den Werten der Steuer-Variablen bestimmt den Wert der Output-Variablen eindeutig.
- Für die meisten Strategien liegt der wahrscheinlichkeitsgewichtete Durchschnitt der Output-Variablen über die Szenarien nahe am Erwartungswert der Output-Variablen.

Außerdem gibt es noch gewisse praktische Kriterien für die Wahl von Szenarien: sie sollten repräsentativ sein für den Raum der möglichen Zukunftsentwicklungen des Systems, sie sollten intuitiv gut erfassbar sein und eine geeignete sprachliche Basis für die Diskussion von Entscheidungsträgern sein.

13.3.4 Darstellung der Ergebnisse

Wenden wir nun dieses Modell auf das eingangs eingeführte Beispiel der Gewinnerhöhung durch Festlegung von Produktpreis und Marketingmaßnahmen an. Der momentane Verkaufspreis des Produkts soll bei 100 Euro liegen. Als möglicher Bereich für Preisänderungen wird [-20%, +20%] ins Auge gefasst. Wir betrachten also mögliche Verkaufspreise zwischen 80 und 120 Euro. Der momentane Marketingaufwand sei 1 Mio. Euro. Als möglicher Bereich für Änderungen des Marketingaufwands wird [-50%, +50%] ins Auge gefasst. Wir betrachten also mögliche Marketingaufwendungen zwischen 500.000 und 1.500.000 Euro. Die externe (nicht zu beeinflussende) Inputgröße Konkurrenz wird in einem Bereich von 0 bis 1 gemessen und hat momentan den Wert 0,5. In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die Auswirkungen einer kurzfristigen (nur zu T=0) Erhöhung und Senkung der Marketingmaßnahmen um 50% und des Verkaufspreises um 20% zu entnehmen. Diese Auswirkungen sind auf den verschiedenen Zeithorizonten unterschiedlich.

Änderungen					
Marketing- maßnahmen	Preis pro Stück	Gewinn			
		t = 0	t = 1	t = 2	t = 3
0 %	0%	0%	0%	0%	0%
0 %	+ 20%	- 10.9%	0%	0%	0%
0 %	- 20%	+ 10.9%	0%	0%	0%
+ 50 %	0%	0%	+ 10.4%	+ 10.4%	0%
+ 50 %	+ 20%	- 5.3%	+ 10.4%	+ 10.9%	0%
+ 50 %	- 20%	+ 5.3%	+ 10.4%	+ 10.9%	0%
- 50 %	0%	0%	- 10.4%	- 10.9%	0%
- 50 %	+ 20%	- 5.3%	- 10.4%	- 10.9%	0%
- 50 %	- 20%	+ 5.3%	- 10.4%	- 10.9%	0%

Tab. 1: Einflüsse verschiedener Maßnahmenkombinationen auf den Gewinn im Szenario „Konkurrenz gleichbleibend“

Im Szenario „Konkurrenzsituation mittel“ beobachten wir dreierlei: Eine Preissteigerung um 20% hat negative Effekte auf den Gesamtgewinn in Periode T=0 und keine Effekte in den späteren Perioden. Eine Preisreduktion

um 20% hat positive Effekte auf den Gesamtgewinn in Periode T=0 und keine Effekte in den späteren Perioden. Bei diesem Produkt ist also der gegengerichtete Einfluss über die Nachfrageänderung stärker als der gleichgerichtete Einfluss über den Gewinn pro Stück.

Änderungen					
Marketingmaßnahmen	Preis pro Stück	Gewinn			
		t = 0	t = 1	t = 2	t = 3
0 %	0%	- 10.8%	- 10.8%	- 10.8%	- 10.8%
0 %	+ 20%	- 10.8%	- 10.9%	- 10.9%	- 10.8%
0 %	- 20%	+ 5.3%	- 10.8%	- 10.8%	- 10.8%
+ 50 %	0%	0%	+ 5.1%	0%	- 10.8%
+ 50 %	+ 20%	- 6.5%	+ 5.1%	0%	- 10.8%
+ 50 %	- 20%	+ 6.1%	+ 5.1%	0%	- 10.8%
- 50 %	0%	0%	- 10.4%	- 10.8%	- 10.8%
- 50 %	+ 20%	- 6.5%	- 10.4%	- 10.9%	- 10.8%
- 50 %	- 20%	+ 6.5%	- 10.4%	- 10.9%	- 10.8%

Tab. 2: Einflüsse verschiedener Maßnahmenkombinationen auf den Gewinn, im Szenario „Konkurrenz Large“

Eine Erhöhung oder Reduktion der Marketingmaßnahmen zu T=0 hat auf den Gesamtgewinn zu T=0 überhaupt keinen Effekt. Die Erhöhung der Nachfrage wird durch die zusätzlichen Marketingkosten ausgeglichen. Auf den Gesamtgewinn zu T=1 und T=2 hat eine Erhöhung oder Reduktion der Marketingmaßnahmen zu T=0 aber wesentlichen positiven Einfluss. In diesen späteren Perioden wirken die positiven Marketingeffekte noch nach, und die Marketingkosten wurden bereits in der Periode T=0 beglichen. Auf den Gesamtgewinn zu T=3 haben die Marketingmaßnahmen zu T=0 keinen Einfluss.

Hat die Entscheidungsträgerin nur Interesse am Gesamtgewinn in der Periode T=0, wird sie einfach den Verkaufspreis reduzieren und die Marketingmaßnahmen unverändert lassen. Hat Sie hingegen Interesse am Gesamtgewinn in den Perioden T=1 oder T=2, oder an der Summe der Gesamtgewinne über alle Perioden, so wird sie zu T=0 den Verkaufspreis reduzieren und gleichzeitig die Marketingmaßnahmen steigern.

Diese beispielhaft ausgewählten Maßnahmen werden alle in der Periode $T=0$ getroffen. Ebenso ließen sich die Effekte von Maßnahmen ermitteln, die sich über mehrere Perioden erstrecken.

Im Sinne einer Szenario-Analyse kann man dieselbe Überlegung für das Szenario „Starke Konkurrenz in allen Perioden“ betrachten. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse. In diesem Szenario beobachten wir generell in allen Perioden Gewinnrückgänge. Am besten werden die Einbußen aufgefangen durch verstärkte Marketingmaßnahmen und reduzierte Verkaufspreise. Wir beobachten, dass die Gewinne generell sinken, aber die Einflüsse von Marketingmaßnahmen und Stückpreisänderungen qualitativ dieselben sind wie im Szenario „Konkurrenz SmallMedium“.

Die Gewinnrückgänge in der letzten Periode $T=3$ können durch keine der kurzfristigen Maßnahmen zu $T=0$ verbessert werden. Werden allerdings die Preise für alle Perioden reduziert und die Marketingmaßnahmen in den ersten drei Perioden gesteigert, dann lassen sich die Gewinne in den Perioden $T = 0, 1, 2$ um 5,3% und in der Periode um 10,4% steigern.

13.4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag haben wir einen Ansatz zur computer-unterstützten Systemmodellierung und Entscheidungsfindung bei vagem Systemwissen vorgestellt. Es erlaubt, ein intuitives Verständnis von Entscheidungsprozessen in ein quantifizierbares Modell einfließen zu lassen, ohne eine spezielle Modelltheorie kennen zu müssen. Wir haben an Beispielen illustriert, wie der Gebrauch eines solchen Instrumentes aussehen könnte, in Form von What-If-Fragen an die Systemdynamik unter verschiedenen Umweltszenarien, oder zur Berechnung und gleichzeitigen simulativen Veranschaulichung einer optimalen Handlungsstrategie.

Wir glauben, dass es einen Mangel an solchen Methoden und Werkzeugen gibt, die sowohl von erfahrenen Entscheidungsträgerinnen mit nicht-formalisiertem Systemwissen und von Expertinnen quantitativer Bewertungs- und Optimierungsverfahren genutzt werden können, um damit zwischen beiden Rollen eine Kommunikationsbasis zu schaffen und um die verschiedenen Erfahrungen durch Integration maximal auswerten zu können. Der Prototyp unseres Werkzeuges hat die prinzipielle Machbarkeit

gezeigt, insbesondere die Tauglichkeit der Fuzzy-Logik für die an das Werkzeug gestellten Anforderungen.

Damit stehen für uns folgende Aufgaben zukünftig an:

1. Einsatz des Werkzeuges in der Praxis, z.B. auf Workshops: Feststellung der Tauglichkeit (Verständlichkeit, Vollständigkeit) der Beschreibungsmittel einer Systemdynamik, und Entwicklung einer Modellierungsmethode
2. Weiterentwicklung des Werkzeuges: etwa die Optimierung, oder Modellierung komplexerer Umwelteinflüsse

13.5 Anhang A: Problembeschreibung

Im Rahmen der Arbeit für diesen Beitrag wurde ein Programm „FuzzyStrategyFinder“ entworfen und teilweise³ realisiert. Dieses soll Benutzer helfen, die in den letzten zwei Kapiteln vorgestellte Methodik einfach umzusetzen. Besonderes Augenmerk wurde auf die Usability des Programms gelegt. Z.B. können alle Komponenten visuell per Drag and Drop erzeugt, angeordnet und editiert werden. Auch die Ergebnispräsentation erfolgt visuell und kann direkt von den einzelnen Komponenten abgelesen werden. Als Programmiersprache wurde Java in der Version 1.4.2 von Sun Microsystems⁴ verwendet. Durch die Plattformunabhängigkeit von Java kann das Programm auf jedem Betriebssystem verwendet werden, welches Java in dieser Version unterstützt. Die Methodik des Programms beruht auf Fuzzy Logic und Approximate Reasoning⁵, welche u.a. nachfolgend beschrieben werden.

13.5.1 Anhang A1: Grundsätzliche Methodik

Für die Erstellung eines Modells stehen dem Benutzer folgende Komponenten zur Auswahl:

- Input-Variablen,
- Output-Variablen,
- Inter-Variablen,
- Relationen,
- Verbindungen und
- Regelblöcke⁶.

Die Input-Variablen übernehmen die Fuzzifizierung von scharfen Werten zu den Fuzzy Sets, auch linguistische Variablen genannt. Die Anzahl der linguistischen Variablen ist fixiert auf vier Unterteilungen: Small, SmallMedium, LargeMedium und Large. Die Randbereiche werden durch Trapeze und die mittleren durch Dreiecke vom System vorgeschlagen. Der Benutzer kann

³ Es wird auch auf Programmfeatures eingegangen, die noch nicht implementiert, aber mit eingeplant sind

⁴ Sun Microsystems. Java 2 Platform, Standard Edition (J2SE). URL: <http://java.sun.com/j2se/index.jsp>

⁵ Dt.: unscharfes Schließen, siehe auch [2]

⁶ Sind noch nicht implementiert

diesen Vorschlag je nach Belieben auf seine Bedürfnisse anpassen, siehe Abb. 5.

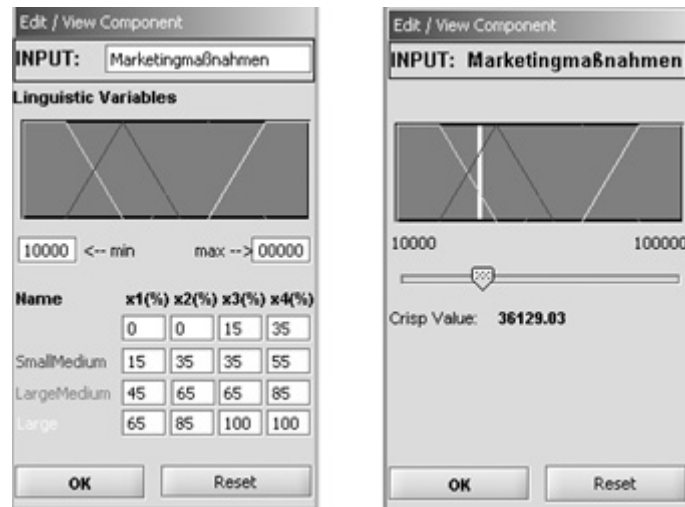


Abb. 5: Editier- und Benutzfenster für eine Inputvariable

Für ein besseres Verständnis kann ein Benutzer obere und untere Grenzen für den scharfen Wert angeben, diese sind rein informativ und haben keinen Einfluss auf das Modell.

Output-Variablen zeigen die Ergebnisse in Form von linguistischen Ausdrücken an und defuzzifizieren diese wieder zurück in scharfe Werte. Die Defuzzifizierung erfolgt mittels der Center of Gravity Methode.⁷ Wurden obere und untere Grenzen für einen scharfen Wert angegeben, wird das Ergebnis auf diese Skala umgerechnet und angezeigt.

Über Inter-Variablen werden Beziehungen zwischen Input-Variablen, Regelblöcken oder Inter-Variablen modelliert. Wird eine Verbindung von einer Komponente zu einer Intervariable hergestellt, wird diese Verbindung vom System als Relation realisiert. Die Einzelergebnisse der angeschlossenen Relationen werden wahlweise über eine von drei Fuzzy-Aggregations-

⁷ Auf Deutsch: Schwerpunktmethod, siehe auch [2]

methoden⁸ zu einem Zwischenergebnis berechnet und an interessierte Komponenten weiterpropagiert.

Über Relationen kann der Benutzer eine von fünf vordefinierten Regelbasen (Kahlert/Frank 1994, S. 21-28, S. 43-52, S. 101-102) auswählen. Zur Verfügung stehen --, -, 0, + und ++. Die Regelbasis 0 gibt an, dass es keine Beziehung zwischen zwei Komponenten gibt, - und -- definieren einen negativen Einfluss und + und ++ einen positiven Einfluss.

Wenn die einfache Modellierung von Beziehungen und Abhängigkeiten über Inter-Variablen und Relationen die realen Gegebenheiten nicht in ausreichender Form abbilden können, müssen diese Beziehungen und Abhängigkeiten über Regelblöcke definiert werden. Ein Regelblock besteht aus einer variablen Anzahl an Regeln, welche z.B. folgende Form haben können: Wenn „A“ sehr klein und „B“ groß ist, ist „C“ sehr groß. Für jede Situation und Zeitschicht müssen diese Regeln definiert werden. Bei der Anwendung des Modells werden alle Regeln mittels Mamdani-Inferenz (Negnevitsky 2005, S. 87-127) evaluiert und aggregiert.

Zyklenvermeidung

Während der Erstellung eines Modells wird überprüft, ob ein Zyklus vorhanden und dadurch nicht mehr berechenbar ist. Ein Zyklus ist dann vorhanden, wenn eine topologische Sortierung (Cormen/Leiserson/Rivest 1999, S. 477-488) der Variablen und Regelblöcke nicht mehr möglich ist. Die topologische Sortierung wird jeweils nach Einfügen einer neuen Verbindung oder Relation zwischen Variablen und/ oder Regelblöcken durch Tiefensuche (Cormen/Leiserson/Rivest 1999, S. 477-488) realisiert.

Zeitmodellierung

Die Zeitmodellierung wird mittels vier Zeitschichten (Layer) vorgenommen, siehe Abbildung 6. Eine Erweiterung auf beliebig viele Zeitschichten ist in einer späteren Version geplant. Die derzeitige Unterteilung auf vier Zeitschichten leitet sich aus den vier Quartalen eines Geschäftsjahres ab, jedoch müssen die Zeitschichten nicht den 4 Quartalen entsprechen.

⁸ Fuzzy-AND, Fuzzy-OR und Fuzzy-COMPENSATION (Mittelwert), siehe auch [2]

Diese Zeitschichten sind scharf modelliert, d.h. eine Abbildung wie z.B. „ungefähr im nächsten Halbjahr investiere ich x Euro“ ist nicht möglich. Die Zeitabstände zwischen den Layern werden mit Relationen zwischen den Variablen oder Regelblöcken indirekt modelliert. Unterschieden wird zwischen relativer, absoluter und gemischter Zeitmodellierung. Bei der relativen Zeitmodellierung werden die Regeln beim vorrücken der Zeit automa-

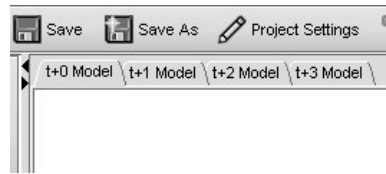


Abb. 6: Zeitmodellierung

tisch um einen Zeitschritt nach vorne geschoben. Dies bedeutet, dass die Regeln nur einmalig für die vier Zeitschichten definiert werden müssen. Wenn eine absolute Zeitmodellierung gewählt wird, müssen die Regeln für jede Zeitschicht einzeln definiert werden, geben jedoch dem Anwender mehr Flexibilität für die Modellierung.

13.5.2 Optimierung

Für die Optimierung kommen alle deterministischen Verfahren in Frage, welche mit Unstetigkeiten in der Zielfunktion zu Recht kommen. Als einfachste Variante bietet sich eine Optimierung durch vollständige Enumeration (Cormen/Leiserson/Rivest 1999, S. 477-488) an. Bei der vollständigen Enumeration wird der Suchraum systematisch durch geordnetes Evaluieren aller Punkte im Suchraum nach einer optimalen Lösung (Minimum oder Maximum) abgesucht. Bei dieser Methode findet man unter Garantie ein globales Optimum, jedoch unter proportionaler Zeit zur Größe des Suchraumes.

13.5.3 Anwendung des Programms

Die Anwendung des Programms wird anhand des Beispiels 13.2 demonstriert. Als Steuerungsparameter (Input-Variablen) werden „Marketingmaß-

nahmen“ und „Preis pro Stück“ angenommen. Die Inter-Variablen und Relationen „Nachfrage in Stück“, „Kosten pro Stück“, „Gewinn pro Stück“ und „Gewinn“ definieren die Zusammenhänge zwischen den Input-Variablen „Marketingmaßnahmen“ und „Preis pro Stück“ und dem Output „Gewinn Output“. Als Externe Variable wird eine Inputvariable „Konkurrenz“ definiert, welche die Intervariable „Nachfrage in Stück“ beeinflusst.

Die Programmoberfläche

Die Programmoberfläche ist in sechs verschiedene Bereiche unterteilt (siehe Abb. 7):

- 1) Symbolleiste für allgemeine Einstellungen
- 2) Symbolleiste für Einstellungen bezüglich Arbeitsschritte ((3) in Abb. 7)
- 3) Auswahlfeld für die Arbeitsschritte
 - a. Erzeugen und Editieren des Modells
 - b. Definieren der Regeln zwischen einzelnen Variablen und Regelblöcken
 - c. Benutzen des fertigen Modells

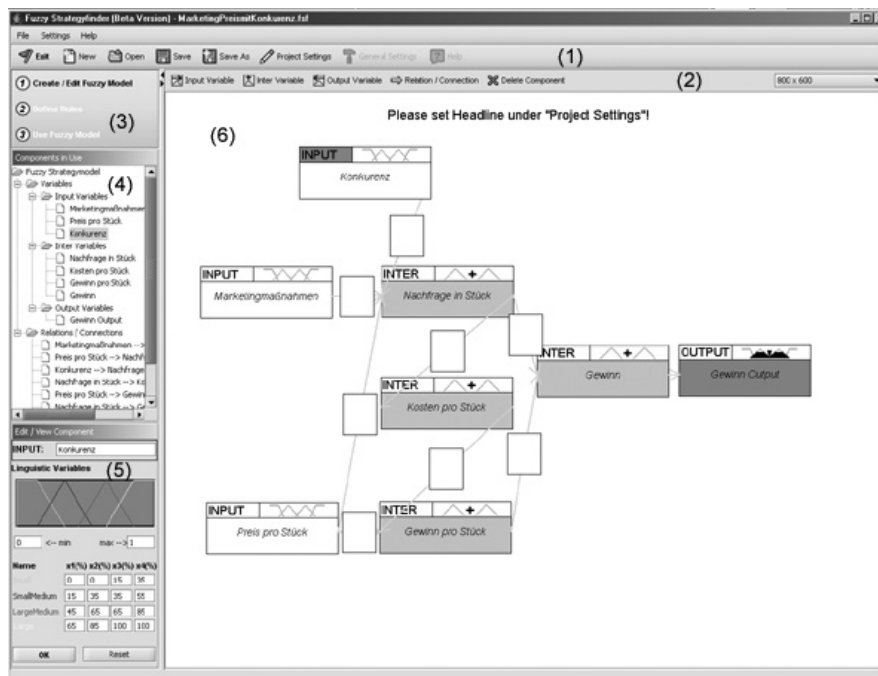


Abb. 7: Die Programmoberfläche

- 4) Baumansicht der einzelnen verwendeten Komponenten, Verbindungen und Relationen
- 5) Editierfeld für Komponenten, Verbindungen und Relationen
- 6) Das Hauptfenster, in welchem das Modell durch „Drag and Drop“ erstellt und benutzt wird.

Erzeugen des Modells

Der erste Schritt für den Anwender ist das Erzeugen des unscharfen Modells resp. des Wirkungsgefüges. Auf das Beispiel bezogen beinhaltet dies folgende Arbeitsschritte:

- Auswahl „Create / Edit Fuzzy Model“ über das Auswahlfeld für die Arbeitsschritte.
- Erstellen der Input-Variablen „Marketingmaßnahmen“ und „Preis pro Stück“ und „Konkurrenz“ über die Symbolleiste. Falls die vom System vorgeschlagenen Fuzzy Sets nicht der tatsächlichen Situation angepasst sein sollten, können diese über das Editierfeld für Input-Variablen nachgebessert werden. Zusätzlich können die oberen und unteren Grenzen für ein besseres Verständnis für den Benutzer definiert werden, wie z.B. für Marketing kann die untere Grenze mit 10000 (Euro) und die obere Grenze mit (100000) Euro festgesetzt werden.
- Erstellen der Inter-Variablen „Nachfrage in Stück“, „Kosten pro Stück“, „Gewinn pro Stück“ und „Gewinn“.
- Erstellen der Outputvariable „Gewinn Output“. Die Fuzzy Sets und die oberen und unteren Grenzen für die Defuzzifizierung können wie bei Input-Variablen bei Bedarf nachgebessert werden.
- Herstellen der Beziehungen zwischen den Variablen durch Relationen und Verbindungen über die Symbolleiste.

Definieren der Regeln

Sind alle Variablen und deren Zusammenhänge modelliert und realisiert, werden die Regeln für die Relationen definiert:

Auswahl „Define Rules“ über das Auswahlfeld für die Arbeitsschritte.

Selektieren der Einzelnen Relationen und Definieren der Regeln (z.B. -- oder +) über das Editierfeld.

Benutzen des Modells

Nach Fertigstellung des Modells samt Relationen kann der Gewinn über die Steuerungsparameter „Marketingmaßnahmen“ „Preis pro Stück“ und „Konkurrenz“ ermittelt werden.

Je nach Größe dieser Inputs werden die Fuzzy-Werte small, smallmedium, largemedium und large berechnet und im Hauptfenster (siehe Abb. 8) angezeigt. Als zusätzliches Ergebnis neben den Fuzzy-Werten liefert die Outputvariable „Gewinn Output“ einen defuzzifizierten (scharfen) Wert an. Die Inputgrößen und Ergebnisse der Zeitschichten T+1, T+2, T+3 werden über die Karteikarten oberhalb des Hauptfensters (siehe Abb. 6) gesetzt und abgerufen.

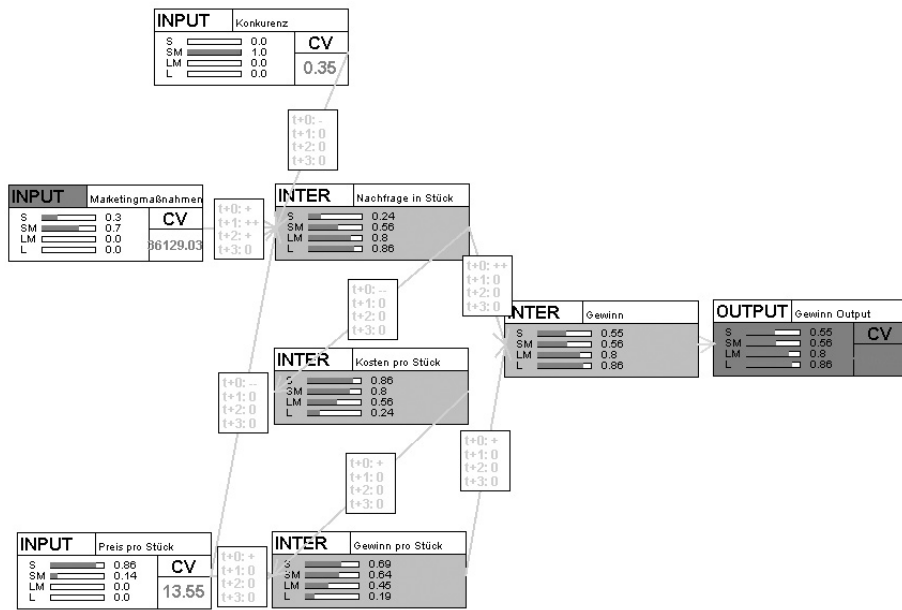


Abb. 8: Benutzen des Beispielmodells

Literatur

Cormen T. H./Leiserson, C. E./Rivest, R. L.: Introduction to Algorithms, Cambridge 1999

Kahlert J./Frank, H.: Fuzzy-Logic und Fuzzy-Control, Braunschweig 1994

Negnevitsky, M.: Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems, Second Edition. Harlow 2005

Neuman K./Morlock, M.: Operations Research, 2. Aufl., München 2002

Sun Microsystems. Java 2 Platform, Standard Edition (J2SE). URL: <http://java.sun.com/j2se/index.jsp>

Weitere Arbeiten

Forschungszentrum Prozess- und Produkt-Engineering

ANWENDUNGEN

Kurzfristige Prognose des Stromverbrauchs in Vorarlberg auf Stunden- und Viertelstundenbasis
Thomas Steinberger, 2004

Weiterbildungs- und Qualifizierungsbedarf kleinerer und mittlerer Unternehmen in Vorarlberg bezüglich Prozess- und Projektmanagement, Führung, Strategie und Innovationsmanagement
Markus Reichart, Julia Schneider, Isabella Gratzner, 2004

Netzwerke für Innovationen
Martin Meusburger, Markus Reichart, Karin Feurstein, 2005

Neue Technologien im Produktinnovationsprozess
Julia Schneider, Markus Reichart, 2005

Bezug von externen Leistungen in der Produktentwicklung Aktueller Stand - Trends - Verbesserungspotenziale
Julia Schneider, 2005

METHODEN

Identifying Worst Case Scenarios of Security Portfolios with Quasi-Random Search Algorithms
Thomas Breuer, Filip Pistovcak, 2004

A General Noise Model and Its Effects on Evolution Strategy Performance
Hans-Georg Beyer, Dirk V. Arnold, 2004

Using Quasi-Monte Carlo Scenarios in Risk Management
Thomas Breuer, Filip Pistovcak, 2004

An Explicit Characterization of Calogero-Systems
Fritz Gesztesy, Karl Unterkofler, Rudi Weikard, 2004

Reliability of old and new Ventricular Fibrillation Detection Algorithms for Automated External Defibrillators
Anton Amann, Robert Tratnig, Karl Unterkofler, 2005

Towards an Integrated Measurement of Credit and Market Risk
Thomas Breuer, Martin Jandacka, Gerald Krenn, 2005

Umgang mit Szenarien
Falko E. P. Wilms, 2005

Umgang mit unscharfen Informationen
Falko E. P. Wilms, 2005

A new ventricular fibrillation detection algorithm for automated external defibrillators
Anton Amann, Robert Tratnig, Karl Unterkofler, 2005

Removal of Resuscitation Artefacts from Ventricular Fibrillation ECG Signals Using Kalman Methods
Anton Amann, M. Baubin, Klaus Rheinberger, Karl Unterkofler, 2005

Detecting ventricular fibrillation by time-delay methods
Anton Amann, Robert Tratnig, Karl Unterkofler, 2005

Der Einsatz vagen Wissens bei Entscheidungsprozessen
Thomas Breuer, Hans Vollbrecht, Andreas Juen, 2005

