

Entscheidungen selbststeuernder logistischer Objekte

Henning Rekersbrink, Universität Bremen, Björn Ludwig, TU Clausthal und Bernd Scholz-Reiter, Universität Bremen



Dipl.-Ing. Henning Rekersbrink arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Bremen, Fachgebiet Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme. Sein Arbeitsschwerpunkt ist die Selbststeuerung transportlogistischer Prozesse.



Prof. Dr.-Ing. Björn Ludwig ist Geschäftsführer des Beratungsunternehmens Technow-ledge Consulting in Göttingen und vertritt das Fachgebiet Systemtechnik am Institut für Elektrische Energietechnik der Technischen Universität Clausthal.



Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter leitet das Fachgebiet Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme an der Universität Bremen und ist Direktor des Bremer Instituts für Betriebstechnik und angewandte Arbeitswissenschaft. Er ist Herausgeber der Zeitschriften Industrie Management und PPS Management.

Alternativen eine Entscheidung treffen zu können, wird ein am Bremer Sonderforschungsbereich 637 weiterentwickeltes Entscheidungssystem vorgestellt, welches auf der Methode der unscharfen hierarchischen Aggregation mithilfe der Unscharfen Logik (Fuzzy Logic) basiert. Es wurde als anwenderfreundliches Bewertungs- und Entscheidungssystem erstellt und ist nicht nur für selbststeuernde logistische Objekte anwendbar.

Die Idee der Selbststeuerung basiert auf einer Verlagerung der zentralen Planung und Steuerung hin zu einer Vielzahl dezentraler Lösungsfindungsprozesse einzelner logistischer Objekte. Durch diese heterarchische Struktur können Komplexität und Dynamik der einzelnen Entscheidungsprozesse reduziert und damit handhabbar gemacht werden (siehe z.B. [1]).

Grundlegende Selbststeuerungskonzepte speziell für die Transportlogistik wurden bereits vorgestellt. So beschreibt das in [2] vorgestellte Distributed Logistics Routing Protocol (DLRP) im Wesentlichen ein Protokoll zur Alternativengenerierung für die einzelnen logistischen Objekte. Über ein solches Selbststeuerungskonzept erhalten z.B. Fahrzeuge oder Pakete für ihre spezielle Situation angepasste Routenalternativen und eine entsprechende Datengrundlage, um sich für eine der Routen entscheiden zu können. Wie eine Entscheidung am logistischen Objekt selbst automatisiert getroffen wird, ist jedoch nicht Teil des DLRP, da es als Metaprotokoll nur allgemeine Selbststeuerungsprinzipien umsetzen will.

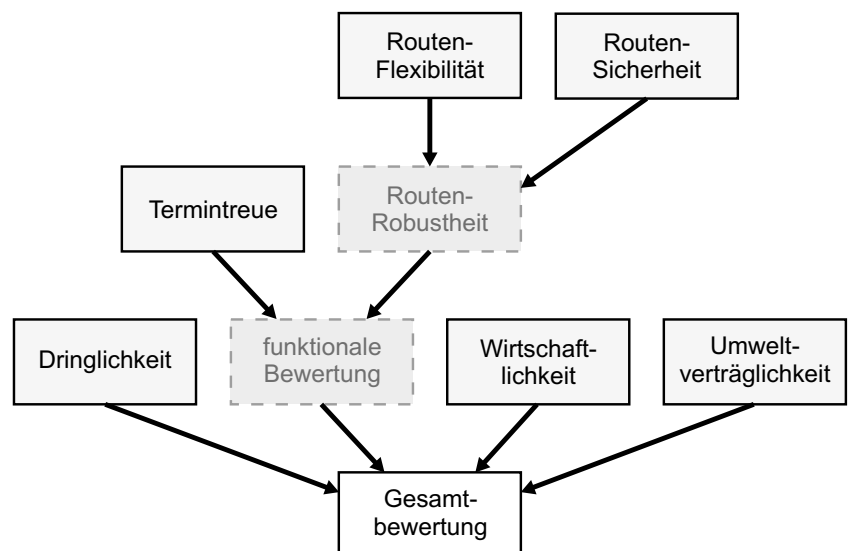
Da in der praktischen Umsetzung eines Selbststeuerungssystems für Transportnetze viele Einzelpersonen mit dem Entwurf, dem Umgang und

Innerhalb der Selbststeuerung von Transportprozessen ist es notwendig, dass logistische Objekte Entscheidungen über Routenalternativen treffen. Die verschiedenen möglichen Alternativen erhalten sie durch Selbststeuerungsprotokolle. Um aus diesen

Kontakt:

Universität Bremen
Fachgebiet PSPS
Postfach 33 05 60
28335 Bremen
Tel.: 0421 / 218-5635
E-Mail: rek@biba.uni-bremen.de
URL: <http://www.biba.uni-bremen.de/psps>

Bild 1: Teilkriterien und Bewertung von Paketrouuten.



Selbststeuerung in der Logistik

dem Verständnis der Entscheidungen der logistischen Objekte konfrontiert werden, sind Einfachheit, Anwenderfreundlichkeit und Transparenz zwingende geforderte Eigenschaften eines Entscheidungssystems für selbststeuernde Objekte. Im Folgenden wird ein solches Entscheidungssystem auf Basis der Methode der unscharfen hierarchischen Aggregation mithilfe der Fuzzy Logic [3, 4] vorgestellt, bei dessen Entwurf einerseits die Anwenderfreundlichkeit und andererseits die Vielfalt der Einstellungsmöglichkeiten beibehalten wurde. Im Zentrum steht dabei die Robustheit einer verbalen Formulierung der bekannten Informationen und Zusammenhänge.

Bewertung und Entscheidung

Eine Entscheidung ist das Ergebnis eines Auswahlprozesses, bei dem eine von mehreren möglichen Handlungen ausgewählt wird. Die Auswahl erfolgt in Abhängigkeit davon, in welchem Ausmaß wesentliche, die Entscheidung beeinflussende Kriterien erfüllt sind. Dem zu Folge liegt einer Entscheidung eine vorhergehende Beurteilung der Gesamtsituation zugrunde, die aus den Bewertungen einzelner Handlungsalternativen entsteht [5].

Meist handelt es sich dabei um multikriterielle Bewertungsprobleme, bei denen die einzelnen Kriterien den Grad

der Erreichung von Teilzielen angeben, die oftmals in Konkurrenz zu einander stehen. Die optimale Entscheidung ist diejenige, die bezüglich der Entscheidungssituation und der Ziele des Entscheidungsträgers den maximalen Nutzen erzielt. Eine rationale Entscheidung liegt vor, wenn das Bewertungsverfahren in sich widerspruchsfrei ist, mit dem der Entscheider den Nutzen möglicher Entscheidungen ermittelt.

Entscheidungen werden gewöhnlich von Menschen getroffen. Die zugrunde liegenden Informationsverarbeitungsprozesse werden im vorliegenden Fall auf logistische Objekte unter der Maßgabe der Selbststeuerung übertragen. Menschliche Informationsverarbeitungsprozesse mit dem Ziel der Bewertung und Entscheidung sind auf die Beschränkung auf wesentliche Zusammenhänge, das heißt auf die Aggregation vieler Informationen zu wenigen stellvertretenden Größen angewiesen. Ziel der Bewertung ist es, ein quantitatives Maß zu ermitteln, das die absolute oder relative Vorteilhaftigkeit der einzelnen Handlungsalternativen in einer einzigen Größe ausweist und sie damit vergleichbar macht. Möglich sind Bewertungsmaße, die für alle Ziele die gleiche physikalische Einheit verwenden, oder solche, bei denen eine objektive mathematische oder eine subjektiv wertende Transformation die Maße der Zielerträge vergleichbar macht [5].

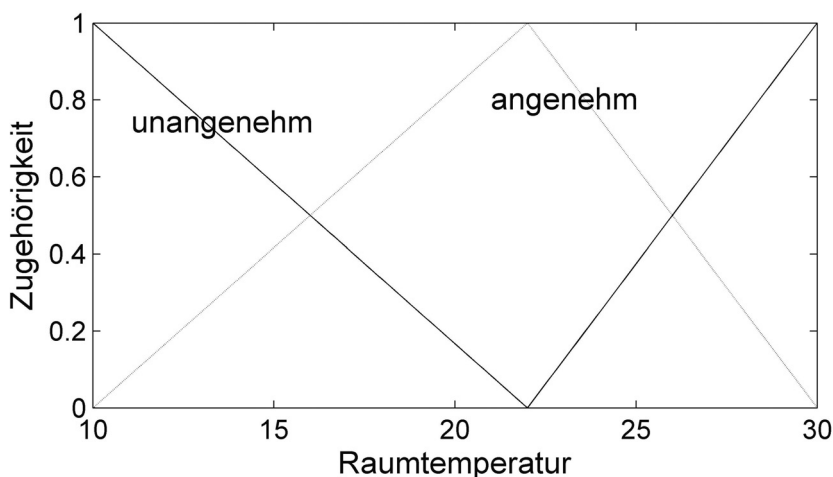
Bei einer mehrdimensionalen Bewertung wird die übergeordnete Zielvorstellung in ihre einzelnen untergeordneten Teilziele zerlegt. Aus den nun möglichen Teilbewertungen muss anschließend die Gesamtbewertung bestimmt werden (Aggregationsproblem) [3]. Die Bewertung eines Sachverhalts in Bezug auf ein bestimmtes Ziel wird als Zielerreichungsgrad ausgedrückt. Dieser ist ein Maß für das Erfüllen der Zielvorstellung. Dabei kann in kompensatorischen Bewertungsmodellen in der Aggregationsvorschrift ein weniger gutes Bewertungsergebnis in einem Teilziel durch ein besseres in einem anderen Teilziel ausgeglichen werden. Zu beachten ist die Vollständigkeit der Kriterien und wie die Teilbewertungen zu einer Gesamtbewertung aggregiert werden [3]. Entscheidend für die Aussagefähigkeit und die Kritisierbarkeit der Ergebnisse ist die Nachvollziehbarkeit und Transparenz der Zusammenführung.

Entscheidungsfunktion

Für die Entscheidungen logistischer Objekte in einen Transportnetz sollen hier beispielhaft die Entscheidungen eines selbststeuernden Pakets erläutert werden. Die Pakete als Transportobjekte erhalten über das entsprechende Protokoll eine Anzahl von möglichen Routen zu ihrem Ziel, müssen diese Routenalternativen bewerten und sich aufgrund dieser Bewertung schließlich für eine Route entscheiden. Aus den vom Selbststeuerungsprotokoll zur Verfügung gestellten Informationen, z.B. Routenflexibilität, Routensicherheit, Termintreue, Dringlichkeit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit soll die Entscheidungsfunktion eine Routenbewertung errechnen. Die selbststeuernden Transportmittel (z.B. Lkw) verfügen über ähnliche Entscheidungsmechanismen für ihre Routenwahl.

Zunächst werden die Teilziele für die Entscheidung bestimmt und sodann ihre Struktur festgelegt. Bild 1 zeigt eine beispielhafte Struktur der verschiedenen Entscheidungskriterien für ein selbststeuerndes Paket. Sie ist hierarchisch aufgebaut und beinhaltet daher bereits

Bild 2: Beispiel für trianguläre Zugehörigkeitsfunktionen für die Mengen „unangenehm“ und „angenehm“ Raumtemperaturen.



eine Gewichtung der Teilkriterien. Diese beeinflussen die Gesamtbewertung in Abhängigkeit davon, auf welcher Aggregationsstufe sie auftreten. So ist in der Struktur angelegt, dass z.B. das Kriterium „Routensicherheit“ eine tendenziell geringere Gewichtung hat als das Kriterium Wirtschaftlichkeit.

Die Werte der externen Kriterien (Input), wie z.B. Termintreue, werden dabei durch das Selbststeuerungsprotokoll für eine Route zur Verfügung gestellt. Einige Teilkriterien, wie z.B. Routenrobustheit, sind jedoch nicht direkt zugänglich und müssen entsprechend intern aggregiert werden. Kriterien wie die Dringlichkeit oder Umweltverträglichkeit sind unabhängig von der Routenrobustheit und gehen auf unterschiedlicher Aggregationsstufe in die Entscheidung ein.

Bei dieser Bewertung ist allerdings zu beachten, dass ein kompensatorischer Effekt zwischen den Kriterien nicht immer erwünscht ist. Dies ist z.B. in der letzten Aggregationsstufe der Fall: Bei einer geringen Dringlichkeit des Pakets sind die Kriterien funktionale Bewertung, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit in etwa gleichgewichtig, ein kompensatorischer Effekt zwischen den Kriterien kann hier durchaus gewünscht sein. Ist ein Paket jedoch bereits „zu spät“, so ist das einzige wichtige Kriterium die funktionale Bewertung und damit eine kurze restliche Fahrzeit; in diesem Fall darf eine hohe Wirtschaftlichkeit keinesfalls eine lange Fahrzeit in der Gesamtbewertung ausgleichen.

Zur Formulierung eines Selbststeuerungssystems muss für jedes logistische Objekt eine solche Kriterienhierarchie festgelegt werden. Die Gewichtungen der Teilkriterien untereinander auf einer Aggregationsstufe können aber in

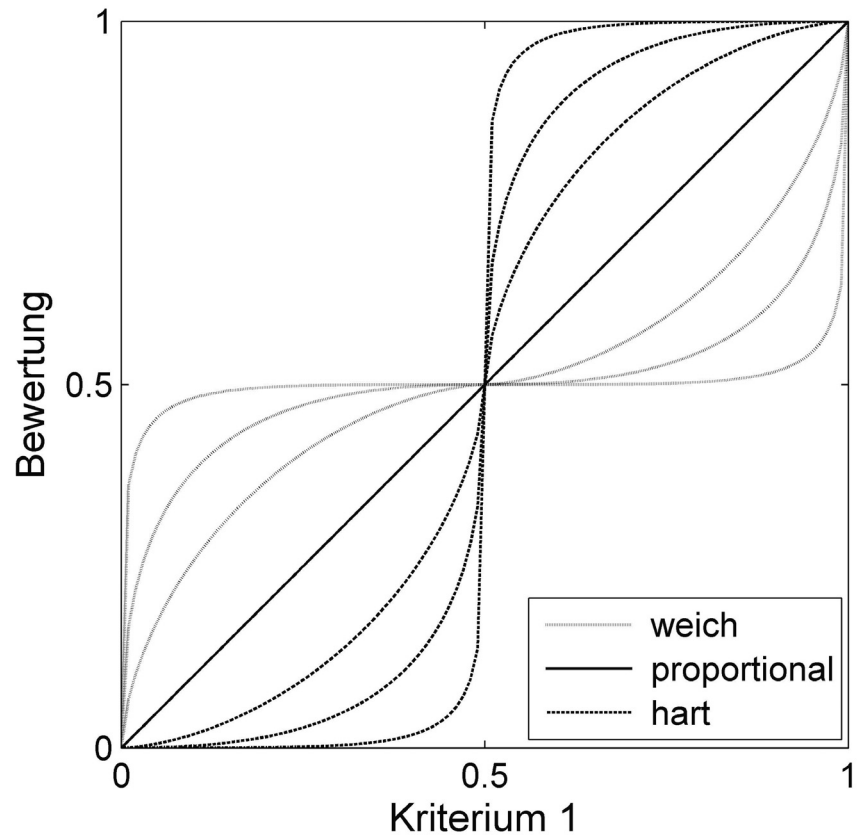


Bild 4: Verschiedene weiche, eine proportionale und verschiedene harte Bewertungen eines Kriteriums (eindimensionale Bewertung).

einem späteren Schritt modelliert werden. Damit ist die Grundform der Entscheidungsfunktion für ein logistisches Objekt festgelegt. Die Berechnung der Entscheidung verläuft nun wie folgt.

Verwendete Methode

Heuristische Kriterien für die Brauchbarkeit von Methoden zur Modellierung dieser Vorgänge sind die Anforderungen, die Lösung solle mächtig, einfach, elegant und solide sein. Außerdem müssen schlecht quantifizierbare Größen und unterschiedliche Arten von Unschärfen berücksichtigt werden können.

Die hier angesprochene Unschärfe ist dabei nicht stochastischer Art, sondern liegt an der vagen, ungenauen oder unsicheren Information [5].

Im Gegensatz zu mathematisch präzise quantifizierbaren Gleichungen enthalten sprachliche Handlungsbeschreibungen unscharf formuliertes Wissen und Eigenschaftsbezeichnungen mit weichen Übergängen zwischen den Abstufungen. Sprachlich formulierte Größen sind im Allgemeinen verständlicher, haben jedoch einen höher aggregierten Informationsgehalt. Klassische Methoden zur Entscheidungsunterstützung, sogenannte Decision Support Systems (DSS), wie z.B. das gewichtete Mittel oder der Analytische Hierarchische Prozess (AHP), haben hier Defizite ([3], [6]). In unserem Anwendungsbeispiel ist zusätzlich erforderlich, dass kompensatorische Effekte zwischen einzelnen Kriterien bewusst erzeugt oder weggelassen werden können (z.B. Dringlichkeit). Daher wählen

Routen-Sicherheit		Routen-Flexibilität		Routen-Robustheit
klein	&	klein	=>	klein
klein	&	groß	=>	mittel
groß	&	klein	=>	mittel
groß	&	groß	=>	groß

Bild 3: Beispiel einer Regelbasis.

Selbststeuerung in der Logistik

wir einen Ansatz zur hierarchischen Aggregation und Bewertung auf der Basis der Unschärfe Logik.

Unschärfe Logik gründet auf der Erkenntnis, dass die Realität eher unscharf als präzise ist, da alle Aussagen einen gewissen Interpretationsspielraum haben, also meist nicht in vollem Umfang zutreffen (z.B.: „Die Raumtemperatur ist angenehm“; „Die gewählte Route ist robust.“). Der Reiz ihrer Anwendung besteht in der Tolerierung oder der gezielten Verwendung von Unschärfe während der Modellbildung. Ein solches Modell ist zwar nicht perfekt, aber oft zur Lösung der Modellierungsaufgabe ausreichend und kann in Bezug auf bestimmte Gütekriterien wie Korrektheit, Vollständigkeit, Adäquatheit, Effizienz und Benutzerfreundlichkeit besser sein als ein Modell, das nur präzise Informationen zulässt.

Kern der Modellbildung auf der Basis der Fuzzy Set Theory ist der Begriff der linguistischen Variablen. Die in der Realität auftretenden Mengen sind durch die verwendeten linguistischen Begriffe unscharf begrenzt, d.h. nicht alle Mengenelemente gehören kom-

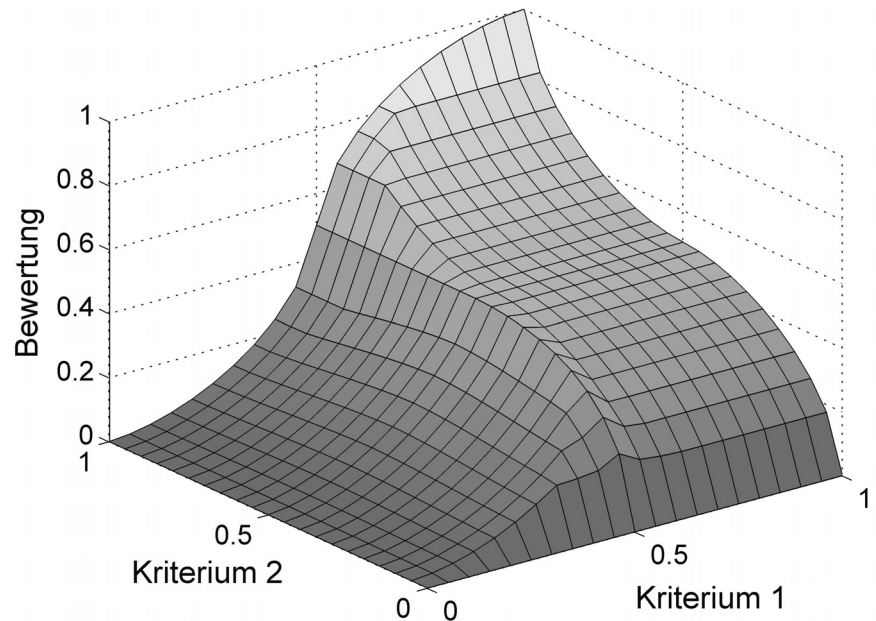


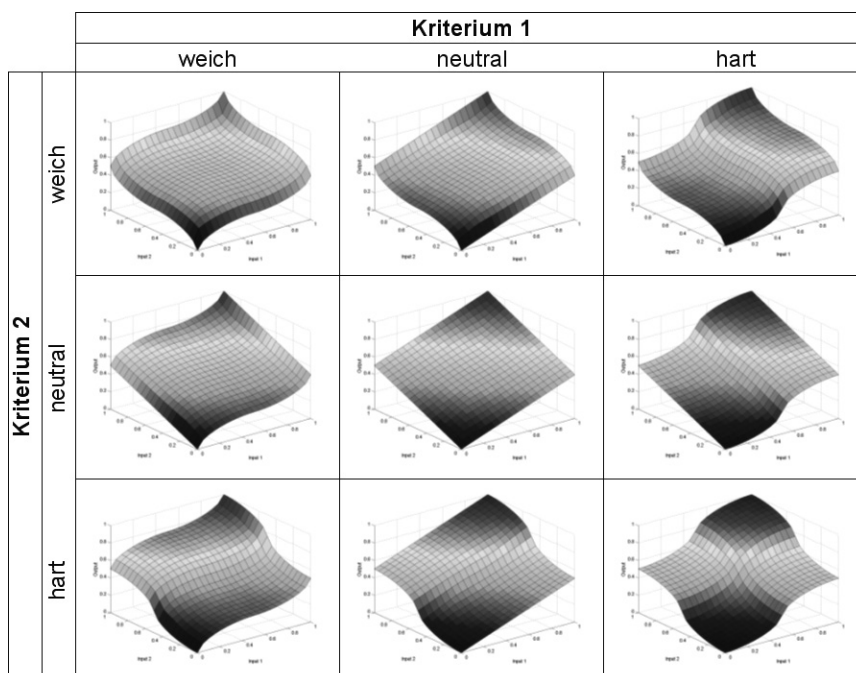
Bild 6: Beispiel einer Bewertungsfläche bei einer strengen Regelbasis und verschiedenen Kriterienausprägungen (Kriterium 1 hart, Kriterium 2 weich).

plett zu ihr oder die Zugehörigkeit ist nicht für alle ihre Elemente gleich Eins. Derartige Mengen werden über sogenannte Zugehörigkeitsfunktionen definiert, die vorzugsweise in das Intervall $[0,1]$ normiert werden. So gehört etwa

die Temperatur 20°C „ziemlich sicher“, d.h. zu „fast 100 %“ zu der Menge der „angenehmen Raumtemperaturen“. Ähnlich problematisch ist die Angabe, wie „robust“ eine Route ist.

Bei der Modellbildung auf der Basis der Unschärfe Logik werden alle Größen als linguistische Variablen definiert. Durch das Konzept der linguistischen Variablen wird die verbale Beschreibung von komplexen und unscharfen Sachverhalten mit mathematischer Exaktheit verknüpft. Die Werte einer linguistischen Variablen (Raumtemperatur, Routenrobustheit) sind sprachliche Ausdrücke, sogenannte Ausprägungen oder linguistische Terme, z.B. „klein“ oder „groß“, „angenehm“ oder „unangenehm“. Jede Ausprägung wird inhaltlich mit einer unscharfen Menge identifiziert und über die jeweilige Zugehörigkeitsfunktion einer dazugehörigen numerischen Werteskala zugeordnet und damit quantitativ zugänglich gemacht. So wäre die Menge der „unangenehmen Raumtemperaturen“ im Intervall $[10^{\circ}, 30^{\circ}]$ derart definiert, dass die Zugehörigkeit der Temperaturen zu der Ausprägung „unangenehm“ zunächst von 100 % bei geringen Temperaturen auf 0 % bei ca. 22° fällt und danach

Bild 5: Bewertungsflächen bei zwei Kriterien (zweidimensionale Bewertung) und verschiedenen Kriterienausprägungen (weich, neutral, hart).



Kriterium 1	Kriterium 2	Bewertung
klein	klein	klein
klein	groß	klein
groß	klein	klein
groß	groß	groß

Bild 7: Regelbasis zur Fläche von Abbildung 5.

wieder auf hohe Zugehörigkeitswerte ansteigen würde. Hingegen würde die Zuordnung der Temperaturen zu der Ausprägung „angenehm“ kontinuierlich von 0 auf 1 bei ca. 22° ansteigen und danach wieder abfallen. Meistens werden diese Zusammenhänge linear beschrieben, sodass dreiecksförmige Zugehörigkeitsfunktionen entstehen (siehe Abbildung 2). Die unscharfen Mengen bilden demnach die Verknüpfung zwischen linguistischem Ausdruck und numerischer Information. Vorteilhaft ist, dass man verbal, also unscharf formuliertes Wissen durch den linguistischen Ansatz direkt im Modell verwenden kann.

Das Wissen liegt dabei in Form von Regeln vor, die in der Wissens- oder Regelbasis abgelegt werden, z.B. „Wenn die Route sicher und flexibel ist, dann ist sie robust“. Zur Verarbeitung dieses Wissens müssen nun mehrere linguistische Variablen mithilfe linguistischer Operatoren (*und*, *oder*, *dann*) verknüpft werden. Als Ergebnis einer Verknüpfung erhält man eine Ausprägung einer neuen linguistischen Variablen, aus der wieder ein scharfer Wert gewonnen werden kann, z.B. große Routensicherheit und kleine Routenflexibilität ergibt eine mittlere Routenrobustheit (siehe Bild 3 Zeile 3). Der Ablauf erfolgt in den Schritten Fuzzifizierung, Inferenz und Defuzzifizierung [5].

Für die Anwendung der Unscharfen Logik zur Entscheidungsunterstützung sind nach Festlegung der problemspezifischen Zielstruktur noch die Systemspezifikationen des Fuzzy Modells anzugeben [3]: Hierzu gehören Basisintervall, Anzahl und verbale Benennungen der Ausprägungen aller linguistischen Variablen. Wir haben hier für Inputgrößen zwei Terme (klein,

groß) und für Outputgrößen drei Terme klein, mittel, groß festgelegt. Die Anzahl der Ausprägungen einer aggregierten Variablen hängt dabei von der gewünschten Auflösung ab. Weiter müssen die Form der Zugehörigkeitsfunktionen für die jede Ausprägung, die Regelbasis mit Regeln für alle möglichen Verknüpfungen zwischen den linguistischen Termen der Inputvariablen sowie die logischen Verknüpfungsooperatoren festgelegt werden.

Entscheidungssystem

Durch die Systemspezifikationen gibt es eine Vielzahl von Einstellungsmöglichkeiten eines Fuzzy-Systems. Da viele Variationsmöglichkeiten zudem redundant sind, wurden die entsprechenden Parameter festgelegt bzw. normiert. Die Beschreibung aller festgelegten Parameter würde jedoch in diesem Rahmen zu weit führen.

Um eine eindeutig nachvollziehbare Art der Zugehörigkeitsfunktionen zu erhalten, wurde deren Form analytisch dahingehend bestimmt, dass sie, im Gegensatz zu den sonst üblichen triangulären Zugehörigkeitsfunktionen (z.B. Bild 2), bei einer entsprechenden einfachen Regelbasis (wie in Bild 3) eine Identitätsabbildung erzeugt. Diese nennen wir im Folgenden eine „proportionale Kriteriumsausprägung“, da die Bewertung proportional mit dem Kriteriumswert steigt (Bild 4). Durch die Einstellung eines einzigen Parameters kann diese Identitätsabbildung in zwei Richtungen verändert werden. In der einen Richtung entsteht eine weniger differenzierende Bewertung, welche im Folgenden „weiche Kriteriumsausprägung“ genannt wird. In diesem Fall ergeben viele Werte eine eher ähnliche Bewertung. In der anderen

INTERPART

INTERNATIONALE ZULIEFERMESSE FÜR DIE FAHRZEUG-INDUSTRIE UND DEN MASCHINEN- UND ANLAGENBAU

Beste Kontakte für die Beschaffung von Zulieferteilen, -leistungen für

» die Fahrzeugindustrie
» den Maschinen- und Anlagenbau

Der Treffpunkt der Zulieferindustrie mitten in einer der wirtschaftsstärksten Regionen Deutschlands mit euroregionaler Anbindung.

www.interpart-karlsruhe.de



ZEITGLEICH:

SURFACTS.
INTERNATIONALE FACHMESSE FÜR OBERFLÄCHENTECHNIK

Oberflächentechnik für den Fahrzeug-, Maschinen- und Anlagenbau

**09. – 11. Oktober 2007
Messe Karlsruhe**



Messe GmbH & Co. KG

Telefon: +49 (0) 721/57 04 44-0

Telefax: +49 (0) 721/57 04 44-22

info@interpart-karlsruhe.de

www.interpart-karlsruhe.de



Karlsruher Messe- und Kongress-GmbH

www.kmk.de

Selbststeuerung in der Logistik

Richtung entsteht eine so genannte „harte Kriteriumsausprägung“. Diese entspricht eher einer Schwelle, ab welcher eine hohe Bewertung erfolgt. Bild 4 zeigt diese Auswirkungen anhand einer eindimensionalen Bewertung.

Die letzte Aggregationsstufe des oben beschriebenen Bewertungsproblems eines selbststeuernden Pakets ist jedoch vierdimensional, da sich die Gesamtbewertung aus vier Teilkriterien ergibt (siehe Bild 1). Bild 5 zeigt, dass sich die beschriebenen Auswirkungen der Kriteriumsausprägung auch auf mehrdimensionale Bewertungen entsprechend übertragen. Die Möglichkeiten dieses Systems zeigen sich hier sehr deutlich, wenn man beachtet, dass die mittlere Einstellung (neutral/neutral) annähernd einer Bewertung mithilfe des gewichteten Mittels entspricht.

Diese Auswirkungen der Kriterienausprägungen bleiben auch bei einer Änderung der Regelbasis erhalten. Für Bild 6 wurde eine andere Regelbasis gewählt. Hier wurde darauf geachtet, dass eine gute Bewertung nur erfolgt, wenn *beide* Kriterien groß sind (keine Kompensation der Teilziele, siehe Bild 7). Es ist jedoch deutlich zu erkennen, dass die Charakteristika der Kriterienausprägungen erhalten bleiben und nicht von der gewählten Regelbasis abhängen: für das Kriterium 1 wurde eine harte Ausprägung gewählt, für das Kriterium 2 jedoch eine weiche.

Im realen Anwendungsfall wird nun eine Route nach den oben genannten Teilkriterien Routenflexibilität, Routensicherheit, Termintreue, Dringlichkeit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit bewertet. Im Vergleich zu Bild 6 erhielt man dann eine Bewertung in Abhängigkeit von sechs Teilkriterien, die als Input in das Entscheidungssystem eingegeben werden. Der Wert der auf der Ordinate aufgetragenen Zugehörigkeitsfunktion, die sich hier als Bewertungsfläche darstellt, entspricht dabei der eigentlichen Bewertung. Diese Bewertung wird für jede zur Verfügung stehende Route vorgenommen. Die Entscheidung kann das logistische Objekt dann z.B. als

Maximum der einzelnen Routenbewertungen treffen.

Zusammenfassung

Für die Selbststeuerung von Transportprozessen ist es notwendig, dass logistische Objekte Entscheidungen über Routenalternativen treffen. Die verschiedenen möglichen Routenalternativen werden im vorliegenden Fall durch sechs Teilkriterien charakterisiert, was eine multikriterielle Bewertung erfordert. Dazu wurde ein Verfahren vorgestellt, das auf der Methode der unscharfen hierarchischen Aggregation mithilfe der Fuzzy Logic basiert.

Das vorgestellte Verfahren wurde bewusst anwenderfreundlich gestaltet, so dass nur drei transparente Schritte zur Spezifizierung eines Entscheidungssystems notwendig sind: Das Festlegen einer hierarchischen Struktur der Abhängigkeiten der Teilkriterien, das Aufstellen der dazugehörigen Regeln und schließlich das Einstellen der jeweiligen Kriterienausprägung (von weich über proportional bis hart) bei der Festlegung der Form der Zugehörigkeitsfunktion.

Damit wird es ermöglicht, unpräzise Information, unscharf formuliertes Wissen und sprachliche Handlungsbeschreibungen direkt in einem Entscheidungsmodell zu berücksichtigen und es können unterschiedliche Gewichtungen und Kompensationseffekte der Teilkriterien in Abhängigkeit der Entscheidungssituation anwenderfreundlich im Modell abgebildet werden.

Literatur

- [1] Scholz-Reiter, B., Freitag, M., Rekersbrink, H., Wenning, B.-L., Gorltd, Ch., Echelmeyer, W.: Auf dem Weg zur Selbststeuerung in der Logistik – Grundlagenforschung und Praxisprojekte. In: Wäscher, G. u.a. (Hrsg.): Begleitband zur 11. Magdeburger Logistiktagung „Intelligente Logistikprozesse: Konzepte, Lösungen, Erfahrungen“. Magdeburg 2005.
- [2] Scholz-Reiter, B., Rekersbrink, H., Freitag, M.: Kooperierende Routingprotokolle zur Selbststeuerung von Transportnetzen. In: Industrie Management 22 (2006) 3, S.7-10.
- [3] Ludwig, B.: Management komplexer Systeme. Der Umgang mit Komplexität bei

unvollkommener Information: Methoden, Prinzipien, Potentiale. VDI-Reihe Technik – Gesellschaft – Natur Band 4. Berlin 2001.

- [4] Ludwig, B.: Fuzzy Logic Modeling of Energy Systems. In: Cleveland, C.J. (Hrsg.): Encyclopedia of Energy Volume 2. San Diego 2004, S. 807-814.
- [5] Ludwig, B.: Methoden zur Modellbildung in der Technikbewertung. In: CUTE-Schriftenreihe Nr. 18. Clausthal-Zellerfeld 1995.
- [6] Turban, E.: Decision Support and Expert Systems. Englewood Cliffs 1995.

Schlüsselwörter:

Logistik, Transport, Selbststeuerung, Fuzzy Logic, Bewertung, Entscheidung

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 637 „Selbststeuerung logistischer Prozesse“, finanziert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft an der Universität Bremen.

Decisions of Autonomously Controlled Logistic Objects

Autonomously controlled transportation processes require decision making of logistic objects regarding routing alternatives. In this contribution a multicriterial evaluation assessment procedure is introduced basing on the fuzzy hierarchical aggregation, adapted and further developed at the CRC 637 "Autonomous Control of Logistic Processes" at Bremen University. The main design focus was user-friendliness within autonomous control and other fields of application. The example of use is a hierarchical structure of the subcriteria characterising the routing alternatives of an autonomous package. It is shown that the procedure can consider unprecise and fuzzy formulated knowledge directly in the model, while parameter adjusting was reduced to a minimum. Different weightings and compensation effects of subcriteria are depicted. The contribution shows the evaluation on a two-subcriteria basis and the possibilities of multicriterial evaluation as well. The evaluation of hard and soft decision making is discussed.

Keywords:

logistics, transport, autonomous control, fuzzy logic, evaluation, decision