

Methode zur automatisierten Transportmittelauswahl mittels Fuzzy-Logik

Method for automated means of transport selection using fuzzy logic

Christian Kutzner, Felix Lucas, Can Sönmez, Malte Stonis, Peter Nyhuis

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH

In derzeitigen Ansätzen findet die Transportmittelauswahl sowie die Transportnetzplanung nachgelagert zur Layoutplanung statt. Die Selektion bestimmter Transportmittel kann zu umfangreichen Anpassungen am Layout notwendig machen. Der Fokus dieses Papers liegt in der frühzeitigen, automatisierten Auswahl geeigneter Transportmittel auf Basis eines Fuzzy Expertensystems. Hierzu wird zunächst ein morphologischer Kasten vorgestellt, der die Basis für die Transportmittelauswahl darstellt. Darauf aufbauend erfolgt die Beschreibung der abgeleiteten Fuzzy-Logik sowie eine kurze Darstellung der Webapplikation.

[Schlüsselwörter: *Transportsystemauswahl, Fuzzy-Logik, Morphologischer Kasten, Logistik*]

In current approaches, the selection of means of transport and transport network planning takes place downstream of layout planning. The selection of certain means of transport can make extensive adjustments to the layout necessary. This paper focuses on an early, automated selection of suitable means of transport based on a fuzzy expert system. For this purpose, a morphological box is presented first, which is the basis for the selection of means of transport. Based on this, the derived fuzzy logic is described, and a short presentation of the web application is given.

[Keywords: *selection of means of transport, fuzzy logic, morphological box, logistics*]

1 EINLEITUNG

Derzeit wird für die Prozesse der Layoutplanung, der Transportsystemauswahl wie auch der anschließenden Transportnetzplanung ein hohes Maß an Expertenwissen benötigt, um diese adäquat durchführen zu können. Kleine und mittlere Unternehmen verfügen jedoch nicht über dieses Expertenwissen, weshalb diese Entscheidungen oftmals subjektiv getroffen oder durch das Engagieren von Experten kostenintensiv ausgelagert werden.

Das Ziel des Forschungsprojekts „Automatisierte und integrierte Layout- und Transportsystemplanung unter Berücksichtigung logistischer und wirtschaftlicher Zielgrößen“ (AutoLaT), welches am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH bearbeitet wird, ist es einen Softwaredemonstrator zu entwickeln, der die Layoutplanung, Transportsystemauswahl und die anschließende Transportnetzplanung integriert betrachtet und automatisiert. Die Transportmittelauswahl dient in diesem Kontext als Eingangsparameter für die spätere Layout- und Transportnetzplanung, um so die Einflüsse der Transportsysteme auf die Gestaltung des Layouts möglichst früh zu berücksichtigen [Kut19, Aur18].

Die in dieser Arbeit vorgestellte Methode zur Transportmittelauswahl, soll produzierenden Unternehmen einen möglichst intuitiven Ansatz zur Auswahl eines geeigneten Transportmittels auf Basis ihrer logistischen Anforderungen bieten.

2 STAND DER FORSCHUNG

2.1 INNERBETRIEBLICHE TRANSPORTMITTEL

Im Rahmen dieser Arbeit wird der innerbetriebliche Transport von Stückgütern betrachtet. Ein innerbetriebliches Transportsystem setzt sich aus den Fördermitteln, den Fördergütern, sowie den Förderaufgaben zusammen. Fördermittel sind technische Einrichtungen, die zur mittelbaren oder unmittelbaren Fortbewegung von Gütern dienen. Sie erfüllen dabei die Funktionen des Transportierens, Umschlagens, Stapelns, Lagerns und Kommissionierens von Gütern. Die Förderaufgabe ist von der Art des Förderguts, der Art und Länge des Förderwegs und der Dynamik des Förderprozesses abhängig. Sie bietet eine Grundlage für die Entscheidung, welche Fördermittel verwendet werden [Mar16].

Die Fördermittel können auf der obersten Ebene in Stetig- und Unstetigförderer untergliedert werden, wobei letztere in der Umsetzung vorrangig betrachtet worden sind. Stetigförderer sind Fördermittel, die einen kontinu-

ierlichen Fördergutstrom auf einem festgelegten Weg erzeugen. Aufgrund ihrer Eigenschaften sind Stetigförderer besonders für das Fördern großer Mengen bei festgelegten Wegen geeignet [Kri12]. Unstetigförderer fördern in einzelnen Arbeitsspielen. Zu den Arbeitsspielen zählen so-

wohl Last-, als auch Leerfahrten. Im Gegensatz zu Stetigförderern sind diese geeignet für das Fördern von kleinen und mittleren Mengen mit sich verändernden Wegen [Kri12]. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die weitere Untergliederung der einzelnen Transportmittelarten.

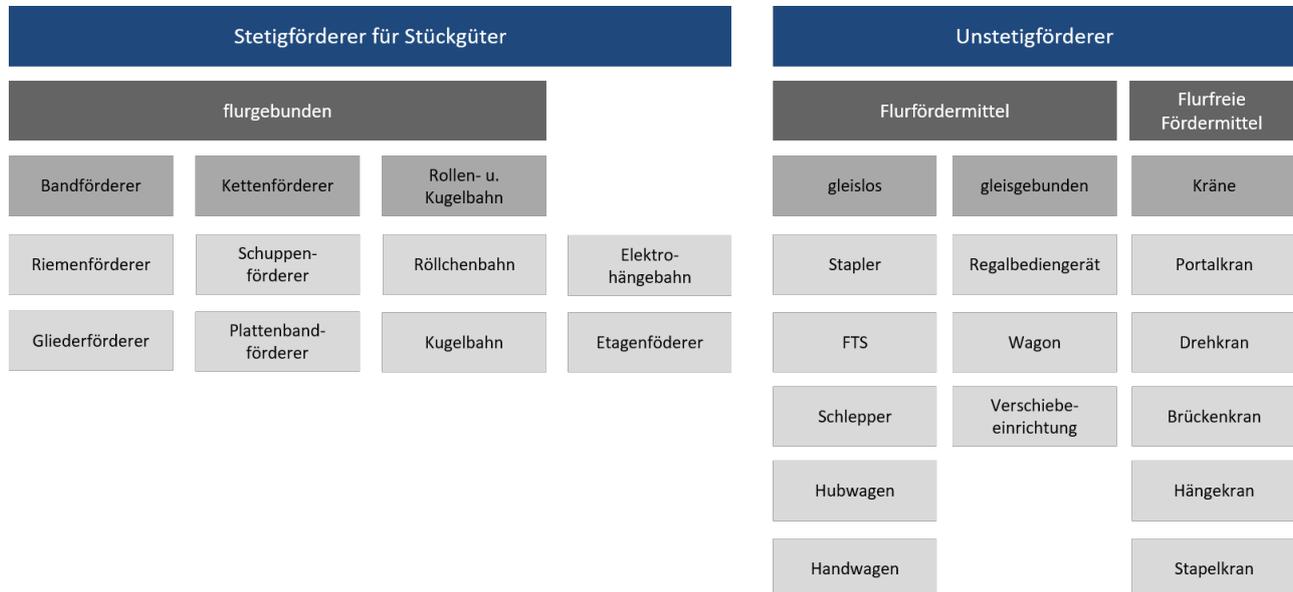


Abbildung 1. Übersicht Fördermittel i. A. a. [Gün06]

2.2 ANSÄTZE ZUR AUSWAHL VON TRANSPORTMITTELN

Zur Auswahl eines geeigneten Transportsystems ist nach PFEIFFER im ersten Schritt die Definition einer genauen Aufgabenstellung notwendig, bei der die Art des Förderguts, Durchsatz und Länge des Förderwegs bekannt sein müssen [Pfe89]. In [Mar99, Ket10] sind diese Parameter um die spezifische Beschreibung der Förderstrecke sowie gesetzliche Bestimmungen ergänzt worden. In neueren Ansätzen unter anderem in [Mar16] sind zudem die Art des Antriebs sowie die Energiezufuhr als entscheidende Auswahlkriterien mitberücksichtigt worden.

Neben den zuvor genannten Kriterien, die sich insbesondere auf die Beschreibung des Transportprozesses sowie die technische Beschreibung des Transportmittels konzentrieren, sind in [Nyh14, Mar16, Hom18] weitere Anforderungen anhand des zu transportierenden Gutes abgeleitet worden. Nach NYHUIS sind dies die Geometrie, Abmessungen, Gewicht sowie die Empfindlichkeit des zu transportierenden Stückgutes [Nyh14]. MARTIN differenziert die Eigenschaften zur Auswahl des Transportguts in die drei Hauptgruppen geometrische Eigenschaften, physikalische und chemische Eigenschaften sowie spezifische Eigenschaften, welche sich wiederum in jeweils drei Subklassen untergliedern lassen [Mar16].

Eine mögliche Methode zur Auswahl geeigneter Transportmittel ist der Einsatz einer Nutzwertanalyse, die auf den zuvor genannten Auswahlkriterien aufbaut. Über eine Gewichtung der einzelnen Auswahlkriterien lässt

sich die Methode individuell an den jeweiligen Anwendungsfall anpassen [Hom18]. In der Arbeit von MÜLLER ist zudem ein Ansatz basierend auf einem Reifegradmodell vorgestellt worden. Hierbei wird neben den oben beschriebenen Kriterien der notwendige Automatisierungsgrad, bestehend aus den Punkten Mechanisierungsgrad, Computerisierungsgrad und Digitalisierungsgrad berücksichtigt.

Der Einsatz eines morphologischen Kastens, wie er in dieser Arbeit genutzt wird, ist unter anderem in HORMES ET AL. zur Auswahl geeigneter Steuerungsansätze für Routenzugsysteme zum Einsatz gekommen [Hor17]. Die Berücksichtigung einer Fuzzy-Logik zur Unterstützung des Auswahlprozesses ist in keiner der beschriebenen Arbeiten betrachtet worden.

2.3 FUZZY-LOGIK

Fuzzy-Logik wird aus dem Englischen mit „vage“-Logik übersetzt und beschreibt dabei eine systematische Methode zur Verarbeitung von Wissen und Variablen in unscharfer Form. Diese wird heute in den Bereichen der Steuerungs- und Regelungstechnik sowie in Diagnose- und Expertensystemen verwendet.

Ein wesentlicher Unterschied zur klassischen Logik (ja/nein) ist, dass die Fuzzy-Logik nicht mehr nur zweiwertig ist. Zu den klassischen Wahrheitswerten, wie „wahr“ oder „falsch“, werden bei der Fuzzy-Logik Aussagen graduell nach ihrem Wahrheitsgehalt bewertet. Das bedeutet, dass eine Aussage nicht mehr entweder eindeutig „wahr“ oder eindeutig „falsch“ ist, sondern zu einem

bestimmten Grad beide Wahrheitswerte einnehmen kann. Ein Element kann demnach einer Menge zugeordnet sein und beispielsweise den Wert 0,8 annehmen [Zim93, Bro17, Böh93, Tra94, Kru15]. Das Element erfüllt demnach das Kriterium der Ausprägung zu einem hohen Grad. Falsch wäre an dieser Stelle die Annahme, dass das Element mit 80% Wahrscheinlichkeit zur Menge gehört, wodurch es beim Eintreten des Falles wiederum den Wert 1 zugewiesen bekommen würde [Kru15, Zim93, Tra94].

Beispielsweise erfolgen bei der Geschwindigkeitsbewertung eines Transportsystems Einschätzungen im Intervall „langsam“ bis „schnell“ mit gegebenenfalls Zwischenstufen, wie „durchschnittlich“ (siehe Abbildung 2). Die Geschwindigkeit eines Transportsystems muss in der Fuzzy-Logik nicht eindeutig „langsam“ oder „schnell“ sein, sondern kann anteilig die eine oder andere Ausprägung erfüllen.

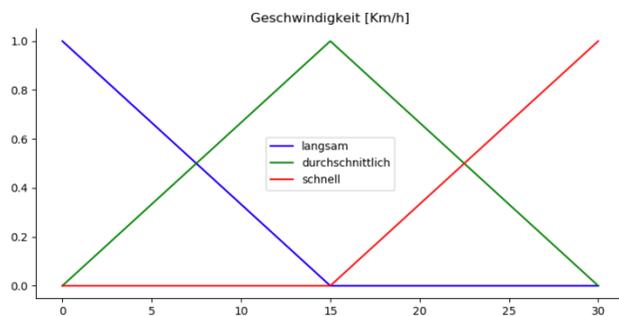


Abbildung 2. Zugehörigkeitsfunktionen für die Fuzzy-Sets des Kriteriums Geschwindigkeit

Die Fuzzy-Logik kann daher als Erweiterung zu der klassischen Logik und insbesondere als Verallgemeinerung der Aussagenlogik verstanden werden [Kru15, Zim93, Bot95, Ott01, Tra94]. Das Wissen wird in Form von Wenn-Dann-Beziehungen zwischen den Eingangsgrößen und den Charakteristika der Transportsysteme abgebildet [Böh93, Bot95, Utt16].

Der Verlauf der Zugehörigkeit eines Elements zu einem Fuzzy-Set (z. B. Menge der „langsamen“ Transportmittel) ist kontinuierlich, sodass die Fuzzy-Logik die Ereignisse der realen Welt in bestimmten Bereichen besser abbilden kann, als die klassischen Mengenlehre. Grafisch modellieren lassen sich die Fuzzy-Sets mittels Zugehörigkeitsfunktionen [Utt15].

2.3.1 ZUEHÖRIGKEITSFUNKTIONEN

In der Fuzzy-Logik besitzt ein Element x einen Zugehörigkeitsgrad μ zu der Menge A im Intervall $[0; 1]$. Dieser Zugehörigkeitsgrad eines Elements beschreibt, in welchem Maße die Eigenschaften einer unscharfen Menge A erfüllt sind [Tra94]. Beispielsweise besitzt in Abbildung 2 die Angabe der Geschwindigkeit von 10 km/h (Element x) einen Zugehörigkeitsgrad μ von ca. 0,6 zu dem Fuzzy-Set „durchschnittlich“ (Menge A). Ebenfalls besitzt diese Geschwindigkeit einen Zugehörigkeitsgrad von ca. 0,4

zum Fuzzy-Set „langsam“. Die Zuweisung der Zugehörigkeitsgrade zu einem Element erfolgt durch Expertenwissen [Rom93]. Die Abbildung der Zugehörigkeitsfunktionen erfolgt häufig über eine Dreiecks-, Trapezfunktion sowie eine Glockenkurve und das Singleton. Die Wahl einer geeigneten Zugehörigkeitsfunktion ist abhängig von dem jeweiligen Problemfall und wird aus dem Expertenwissen abgeleitet. Bei der Verknüpfung von mehreren Fuzzy-Sets nimmt die Wahl der Zugehörigkeitsfunktion nur eine kleine Rolle ein, da die Berechnungen sehr robust sind, sodass Ergebnisse in der Regel nicht stark voneinander abweichen [Bie97].

3 METHODE ZUR TRANSPORTMITTELAUSWAHL

Das Ziel dieser Methode ist es auf Grundlage der Anforderungen und Restriktionen des Nutzers eine Auswahl an möglichen Transportsystemen für den jeweiligen Anwendungsfall zu geben. Der Fokus des Auswahlsystems liegt auf der Betrachtung des innerbetrieblichen Stückgütertransports.

Der folgende Abschnitt gliedert sich dabei wie folgt. In einem ersten Schritt erfolgen die Darlegung und Erläuterung des morphologischen Kastens, welcher die Grundlage für die Auswahl eines geeigneten Transportmittels bildet. Darauf aufbauend wird die zugrundeliegende Fuzzy-Logik erörtert, über die die Berechnung der geeigneten Transportmittel durchgeführt wird. Abschließend wird eine kurze Vorstellung, der auf Basis der Ergebnisse, entwickelten Softwareapplikation vorgenommen.

3.1 ENTWICKLUNG MORPHOLOGISCHER KASTEN

Die Entwicklung des morphologischen Kastens ist auf Basis von bestehenden Arbeiten zu diesem Thema sowie auf Grundlage von Experteninterviews durchgeführt worden. Bei den Experteninterviews sind unter anderem Hersteller von Unstetig-, und Stetigförderern berücksichtigt worden, wie auch Vertriebshändler für Transportmittel der Intralogistik. Der morphologische Kasten (siehe Abbildung 3) ist in die fünf Klassen Fördereinheit, Fertigung, Förderstrecke, Förderprozess und Flexibilität unterteilt, die sich wiederum in verschiedene Kriterien differenzieren lassen. Jedem Kriterium sind anschließend verschiedene Ausprägungen zugeordnet worden, die unter anderem aus den Interviews abgeleitet wurden. Das Kriterium „Max. Gewicht“, welches der Gruppe „Fördereinheit“ zugeordnet ist, ist bspw. in fünf Ausprägungen untergliedert. Jede dieser Ausprägung bildet später ein Fuzzy-Set. Dadurch ist der Anwender bspw. nicht gezwungen eine der entsprechenden Ausprägungen auszuwählen, sondern kann die Eingaben auf seinen Anwendungsfall abstimmen. Die Angabe zum maximalen Gewicht der Fördereinheit kann somit z. B. bei 1150 kg liegen, statt bei 500 kg oder 1500 kg.

Klassen	Kriterium	Ausprägungen				
Förder- einheit	Max. Abmessungen	400 x 600 [mm]	800 x 600 [mm]	1200 x 1000 [mm]	> 1200 x 1000 [mm]	
	Max. Gewicht	< 50 [kg]	500 [kg]	1500 [kg]	4000 [kg]	> 4000 [kg]
	Handhabung	Unterfahrbar		Nicht unterfahrbar		
Fertigung	Schichtmodell	1 Schicht	2 Schicht	3 Schicht		
Förder- strecke	Horizontal	< 25 [m]	25 – 200 [m]	> 200 [m]		
	Vertikal	125 [mm]	125 - 2000 [mm]	2000 - 6000 [mm]	> 6000 [mm]	
Förder- prozess	Transporte pro Stunde	< 15 [T/h]	15 [T/h]	35 [T/h]	60 [T/h]	
	Eilaufräge	Ja		Nein		
	Unterstützungsgrad	manuell		automatisiert		
Flexibilität	Förderweg- flexibilität	Flexibel	Veränderbar mit geringem Aufwand	Veränderbar mit großem Aufwand	Fest montiert	

Abbildung 3. Morphologischer Kasten zur Transportmittelauswahl für den innerbetrieblichen Stückgütertransport

3.1.1 FÖRDEREINHEIT

Die Fördereinheit setzt sich zusammen aus dem Fördergut und dem Förderhilfsmittel. Dieses Kriterium ist gewählt worden, da sich Fördergüter in Form, Masse, Abmessungen, stofflichen Eigenschaften und Empfindlichkeiten stark unterscheiden können. Die direkte Betrachtung von Fördergütern im Auswahlssystem ist dementsprechend mit einer deutlich höheren Komplexität verbunden. Die Folge daraus ist die Nutzung von Förderhilfsmitteln (Paletten, Kleinladungsträger etc.), die die Vielfalt reduzieren und das Handhaben standardisieren. Für die Transportsystemauswahl ist daher nicht das Fördergut selbst das entscheidende Kriterium, sondern die Fördereinheit als Gesamtes.

Aus den Angaben zu den maximalen Abmessungen, dem maximalen Gewicht sowie den Angaben zur Handhabung können technische Grenzen abgeleitet werden, die einen Einsatz des jeweiligen Transportmittels verhindern und eine Überdimensionierung aus wirtschaftlichen Gründen vermeiden. Eine Überdimensionierung geht mit erhöhten Anschaffungskosten einher, für die grundsätzlich kein Nutzen entsteht.

Die Ausprägungen zu den maximalen Abmessungen sind aus den Abmessungen der Kleinladungs- und Großladungsträger abgeleitet. Kleinladungsträger besitzen Abmessungen von bis zu 800 mm x 600 mm. Großladungsträger werden in einem Bereich mit den Abmessungen von 800 mm x 600 mm bis 1200 mm x 1000 mm beschrieben [Mar16]. Dazu gehören z. B. zum einen die Euro-Palette mit Abmessungen von 800 mm x 1200 mm und zum anderen die ISO-Palette mit den Abmessungen von 1200 mm x 1000 mm [DIN-55510]. Zudem ist eine Ausprägung für Sondergrößen berücksichtigt worden, die die Abmessungen 1200 mm x 1000 mm überschreitet.

Die Unterteilung des maximalen Gewichts orientiert sich unter anderem an den Traglasten der Klein- und Großladungsträger und an den Angaben aus den Experteninterviews zu den einzelnen Transportmitteln. Kleinladungsträger besitzen eine Traglast von z. B. bis zu 50 kg und eine Palette z. B. von 1500 kg. Die anderen Ausprägungen sind auf Basis der Angaben der Hersteller zu einer geeigneten Traglastunterteilung getroffen worden.

Die Handhabung ist als Kriterium berücksichtigt worden, da der Transport einer unterfahrbaren Fördereinheit nicht mit einem Transportsystem gewährleistet werden kann, welches dieses Kriterium nicht erfüllt. Deshalb ist eine Unterteilung in „unterfahrbar“ und „nicht unterfahrbar“ als sinnvoll erachtet worden.

3.1.2 FERTIGUNG

Die Klasse „Fertigung“ hat neben dem Schichtmodell zuvor noch weitere Kriterien, wie die Betrachtung der Fertigungsart in Einzel-, Serien und Massenfertigung, beinhaltet. Der Einfluss dieser Kriterien auf die Transportmittelauswahl hat sich in den Interviews als nachrangig erwiesen, weshalb keine weitere Betrachtung dieser Kriterien erfolgt ist.

Die Berücksichtigung des Schichtmodells wird vorgenommen, da hierüber eine implizite Berücksichtigung über die benötigten Personalkosten erfolgt. Bei der Notwendigkeit zur Steuerung des Transportsystems mittels Personals, erhöht eine höhere Anzahl der Schichten den Personalaufwand. Dies ist insbesondere ausschlaggebend im Drei-Schicht-Betrieb, weshalb dort automatisierte Transportsysteme in der Fuzzy-Logik als geeigneter berücksichtigt werden gegenüber personengeführten Transportmitteln. Im Ein-Schicht-Betrieb würde eine derartige Lösung als prinzipiell schlechter geeignet berücksichtigt

werden, da mit einer automatisierten Lösung höhere Investitions- und Wartungskosten einhergehen.

3.1.3 FÖRDERSTRECKE

Eine weitere Klasse für die Auswahl des Transportmittels ist die Förderstrecke, welche in dem morphologischen Kasten in die zwei Kriterien „horizontal“ und „vertikal“ unterteilt ist.

Beim horizontalen Fördern stellt sich die Frage nach der Förderdistanz. Sie unterscheidet zwischen dem Einsatz von Transportsystemen die für eine kurze Strecke, mittlere Strecke und lange Strecke vorwiegend geeignet sind. Bei kurzen Strecken eignen sich unter anderem Gabelhubwagen, da der Aufwand des Transportes als gering eingeschätzt wird. Demgegenüber sind Schlepper bei sehr langen Strecken sinnvoll, da sie mehrere Einheiten gleichzeitig transportieren können, wodurch sich die Kosten pro transportierte Transporteinheit verringern. Wie auch bei den anderen Kriterien darf der Aspekt der horizontalen Förderstrecke nicht allein betrachtet werden und steht z. B. in starker Korrelation zu dem Gewicht der Fördereinheit und den Transporten pro Stunde. Ein Handhubwagen ist prinzipiell gut geeignet für kurze Transportstrecken, dies gilt aber nur solange das Gewicht der Fördereinheit und die Anzahl der Transporte pro Stunde gering bleibt. Für das Kriterium ist eine Einteilung in drei Ausprägungen gewählt worden, welche sich an den Werten 25 m und 200 m aus bestehender Literatur orientiert und in den Interviews bestätigt worden ist [Mar16, Pfe89].

Das vertikale Fördern ist insbesondere bei Aufgaben wie dem Lagern unerlässlich und bildet daher eine Restriktion für die Auswahl der Transportsysteme. Die Transportsysteme müssen eine definierte Höhe erreichen. Die vertikale Richtung stellt den Vorgang des Hebens dar. Hierzu eignen sich verschiedene Hebezeuge wie ein Gabelstapler oder Regalbediengeräte. Bei der Eigenschaft der Hubhöhe der Transportsysteme existieren klare Grenzen. Der vertikale Transport wird besonders bei Transporten im Lagerbereich benötigt. Der Bereich bis 125 mm fällt unter die Kategorie des bodennahen Förderns und stellt keine konkrete Anforderung des Hebens dar. Mit Einbeziehung dieser Größe soll vermieden werden, dass für diesen Fall die Anforderung „bis 2 Meter“ gestellt wird.

3.1.4 FÖRDERPROZESS

Der Förderprozess des Nutzers wird über die „Transporte pro Stunde“, „Eilaufträge“ und den gewünschten „Unterstützungsgrad“ beschrieben. Wie bei dem Reiter Fertigung sind zuvor weitere Kriterien zur Beschreibung des Förderprozesses in Betracht gezogen worden wie z. B. das Schwankungsverhalten in den Transporten. Dieser Aspekt ist nicht weiter im Auswahlssystem berücksichtigt worden, da dieser schwer für den Nutzer zu beschreiben war und eine generalisierte Ableitung hinsichtlich der Eignung bestimmter Transportmittelklassen nicht eindeu-

tig war. Stattdessen ist dafür das Kriterium Eilaufträge im Auswahlssystem eingeführt worden.

Bei der Festlegung der Ausprägungen für das Kriterium „Transport pro Stunde“ konnte auf den Ergebnissen aus den Interviews sowie auf den Ergebnissen aus dem Forschungsprojekt „Wandlungsfähigkeit und Automatisierung für Lager-, Kommissionier- und Transportsysteme“ (IGF-Vorhaben 19373N) aufgebaut werden. Eine Abgrenzung von unter 15 Fördervorgängen pro Stunde bildet die kleinste Ausprägung und ist als geringer Durchsatz definiert. Eine hohe Eignung für diesen Bereich weisen z. B. Gabelhubwagen und Kräne auf.

Der Unterstützungsgrad bezieht sich auf die Bedienung des Transportsystems. Es wird zwischen „Manuell“ und „Automatisiert“ unterschieden. Ob eine Automatisierung sinnvoll erscheint, wird innerhalb der Betrachtung der Kriterien bzgl. des Transportprozesses berücksichtigt. Jedoch kann der Anwender entgegen der Empfehlung zu einem manuellen System ein automatisiertes Transportsystem fordern. Gründe die in den Interviews für eine Automatisierung angegeben wurden sind unter anderem ein bereits integriertes Automatisierungssystem, Imagegründe oder die Unternehmens- und Wettbewerbsstrategie.

3.1.5 FLEXIBILITÄT

Die Abbildung des Kriteriums „Förderwegflexibilität“ bietet die Möglichkeit die Anpassungsfähigkeit des Transportmittels an einen sich örtlich veränderten Materialfluss darzustellen. Der Anwender kann damit im Auswahlssystem angeben, dass eine Veränderung des Transportweges ermöglicht werden soll. Dem Kriterium sind dabei vier Ausprägungen zugeordnet worden „Flexibel“, „veränderbar mit geringem Aufwand“, „Veränderbar mit großem Aufwand“ und „Fest montiert“. Der ersten Ausprägung werden Transportmittel zugeordnet, die ihren Transportweg beliebig anpassen können z. B. Gabelstapler. Der Ausprägung „Veränderbar mit geringem Aufwand“ sind z. B. Fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) zugeordnet, die sich frei Raum bewegen können, denen aber ein neuer Transportweg hinterlegt werden muss. Zu der Ausprägung veränderbar mit großem Aufwand gehören unter anderem FTF die z.B. einen Magnetstreifen zur Orientierung benötigen und dieser für den neuen Transportweg erst angelegt werden muss. „Fest montiert“ sind z. B. Kräne die ein Fundament benötigen.

3.2 AUFBAU DER FUZZY-LOGIK

Der zuvor dargelegte morphologische Kasten bildet die Grundlage für den Aufbau der Fuzzy-Logik. In einem ersten Schritt erfolgt die Abfrage der Eingangsdaten zu dem Transportprozess. Die Ausprägungen der einzelnen Kriterien sind dafür als Fuzzy-Sets mit ihren jeweiligen Zugehörigkeitsfunktionen in der Fuzzy-Logik hinterlegt. In Abbildung 4 sind beispielhaft die Fuzzy-Sets und Zugehörigkeitsfunktionen für den horizontalen und vertikalen Transport dargestellt.

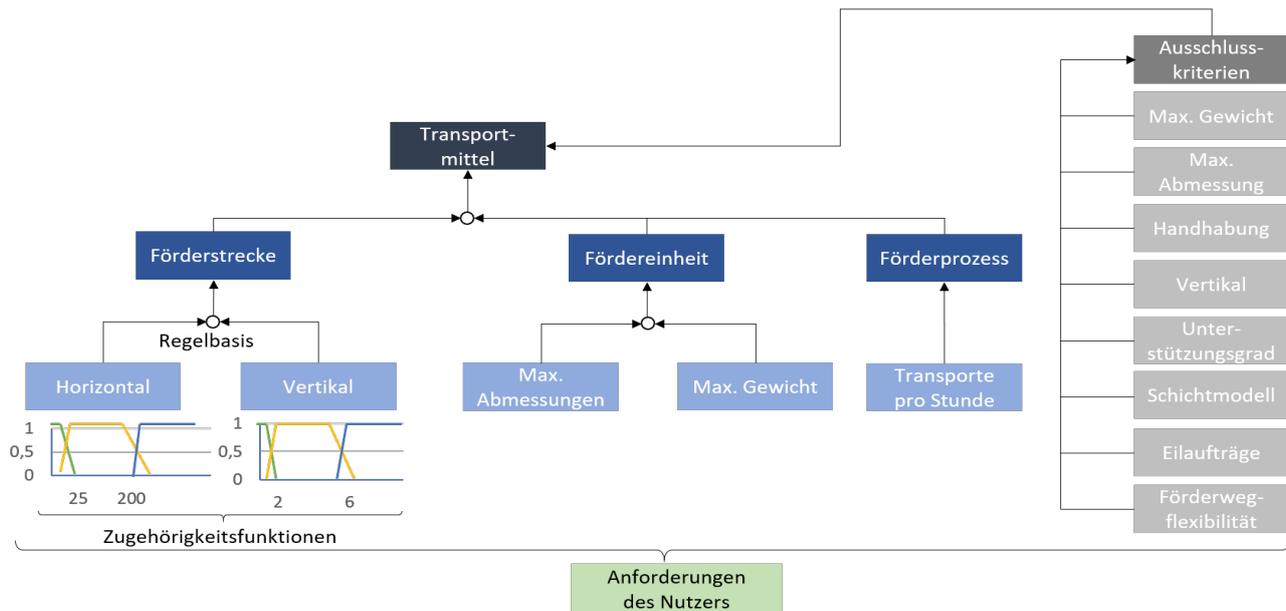


Abbildung 4. Aufbau der Fuzzy-Logik

Als Zugehörigkeitsfunktionen sind hierbei jeweils Trapezfunktionen zur Anwendung gekommen. Das erste Fuzzy-Set beim horizontalen Transport entspricht der Ausprägung 0 bis 25 m (grüne Linie). Zu beachten ist hierbei, dass ein Übergangsbereich zwischen zwei Fuzzy-Sets existiert, da es ansonsten dazu kommen kann, dass eine Nutzereingabe keinem Fuzzy-Set zugeordnet werden kann. Folgende Kriterien gelten für die aufgebaute Fuzzy-Logik

- Es wurden ausschließlich Dreiecks-, Trapez-, Singleton und Glockenkurven verwendet.
- In jedem Fuzzy-Set wurde mindestens einem Wert der Zugehörigkeitsgrad 1 und einem anderen der Wert 0 zugewiesen.
- Die maximale Anzahl an Fuzzy-Sets je Kriterium beträgt fünf.
- Die Zugehörigkeitsfunktionen überlappen sich mindestens bei dem Zugehörigkeitsgrad 0,5.

Über eine implementierte Regelbasis und die aufgebaute Entscheidungshierarchie (siehe Abbildung 4) wird aus dem Ergebnis für den horizontalen und vertikalen Transport der Zugehörigkeitsgrad zu den Fuzzy-Sets für die „Förderstrecke“ berechnet. Über weitere Regeln, erfolgt die Berechnung der Zugehörigkeitsgrade zu den Fuzzy-Sets für die „Fördereinheit“ und den „Förderprozess“. Auf Basis dieser Ergebnisse erfolgt anschließend über eine letzte Regelbasis, die den „Förderbereich“, die „Fördereinheit“ und den „Förderprozess“ verbindet die Ableitung geeigneter Transportmittel für den jeweiligen Anwendungsfall. Wie in Abbildung 4 gezeigt wird, wird nur ein Teil der Eingangsdaten in der Entscheidungshierarchie und somit im Ablauf der

Fuzzy-Logik verarbeitet. Dies sind insbesondere Kriterien für die der Nutzer variable Werte eintragen kann. Um das Ergebnis der Transportmittelauswahl auf alle Eingangsdaten abzustimmen, wird das Ergebnis der Fuzzy-Logik anschließend zusätzlich über die vom Nutzer angegebenen Ausschlusskriterien bereinigt. Das bedeutet, dass sich z. B. in dem Ergebnis aus der Fuzzy-Logik Transportmittel befinden, die nicht für einen Eilauftrag geeignet sind, der Nutzer dieses Kriterium aber angegeben hat. Über die Berücksichtigung des Eilauftrags als Ausschlusskriterium werden die Transportmittel herausgefiltert, die diese nicht erfüllen. Zusätzlich sind z. B. die Kriterien „Max. Gewicht“ und „Max. Abmessungen“ in den Ausschlusskriterien berücksichtigt worden. Dieser Sachverhalt ist implementiert worden, da aus dem Ergebnis der Fuzzy-Logik zwar ein Ranking für die entsprechenden Transportmittel abgeleitet werden kann, sich in der Lösungsmenge aber trotzdem Transportmittel befinden können, deren maximale Traglast z. B. nicht ausreichend hoch ist.

3.3 AUFBAU DER WEBAPPLIKATION

Auf Basis der vorherigen Ergebnisse ist anschließend die Implementierung der Fuzzy-Logik in Python erfolgt. Zusätzlich ist mittels der Pythonbibliothek Flask eine Website für den Softwaredemonstrator erzeugt worden. Die Webapplikation kann unter der URL <https://autolat.de> aufgerufen und kostenlos genutzt werden. Nutzer können dort ihre Testdaten für ihren Transportprozess eintragen. Die Daten werden nicht im System gespeichert. Anschließend erfolgt die Berechnung und Präsentation geeigneter Transportsysteme (siehe Abbildung 5). Der Nutzer kann anschließend ein entsprechendes Feedback auf der Webseite eintragen, ob er mit der vorgeschlagenen Transportmittelauswahl konform geht. Auf Basis dieser Daten kann

das Ergebnis des Demonstrators iterativ verbessert werden. Die Entwicklung des Softwaredemonstrators wird bis Ende März 2021 fortgeführt.

Ergebnis

Unsere Empfehlung: Lasttragende fahrerlose Transportsysteme (500kg)

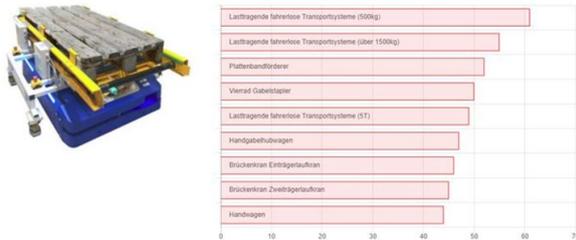


Abbildung 5. Ergebnis der Transportmittelauswahl in der Webapplikation

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In dem vorliegenden Paper ist eine auf Fuzzy-Logik basierende Methode zur Transportmittelauswahl für den innerbetrieblichen Stückgütertransport vorgestellt worden. Die Grundlage dafür bildete die Entwicklung eines morphologischen Kastens. Dieser liefert einerseits eine möglichst anwenderfreundliche Abfrage der Transportprozessdaten des Nutzers. Andererseits musste eine hinreichend große Menge an Auswahlkriterien und Fuzzy-Sets gewährleistet werden, um die Transportmittel und deren Anwendungsbereich hinreichend tief darstellen zu können. Auf Basis dieser Daten ist die Funktionsweise über die Fuzzy-Sets und deren Zugehörigkeitsfunktionen sowie die Entscheidungshierarchie der Fuzzy-Logik erörtert worden. In der vorgestellten Webapplikation werden die Ergebnisse, die auf der beschriebenen Methode basieren der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Zukünftig wird hierbei angestrebt die interne Fuzzy-Logik auf Basis von Testszenarien iterativ zu verbessern. Die Ergebnisse sollen später in den weiterführenden Phasen Forschungsprojekts AutoLaT unter anderem in der automatisierten Layout- und Transportnetzplanung Berücksichtigung finden.

LITERATUR

- [Aur18] Aurich, P.; Stonis, M.; Nyhuis, P.: Entwicklung einer Methode zur quantitativen, mehrdimensionalen Fabriklayoutplanung. In: ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Carl Hanser Verlag, 113 Jg. (2018), H. 3, S. 117-120. ISSN 0032-678X.
- [Bot95] Bothe, H.-H.: Fuzzy-Logik. Einführung in Theorie und Anwendungen. 2. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1995.
- [Böh93] Böhme, G.: Fuzzy-Logik. Einführung in die algebraischen und logischen Grundlagen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1993
- [Bro17] Bross, Florian & Bräu, Verena & Reinhardt, Gunther. (2017). Dimensionierung indirekter Bereiche in der Fabrikplanung: Modellierung indirekter Bereiche auf Basis unscharfer Planungsdaten in der frühen Phase der Fabrikplanung. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. 112. 359-363. 10.3139/104.111741.
- [Hom18] ten Hompel, M.; Schmidt, T.; Dregger, J.: Materialflusssysteme; Förder- und Lagertechnik. 4.Auflage, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg 2018
- [Hor17] Hormes, F., Lieb, C., Fottner, J., Günthner, W.: Steuerung von Routenzugsystemen: Morphologische Einordnung statischer und dynamischer Steuerungsansätze. (2017) ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. 112. 778-782. 10.3139/104.111821.
- [Ket10] Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, H.-R.; Leitfaden der systematischen Fabrikplanung: mit zahlreichen Checklisten. Hanser, München 2010
- [Kut19] Kutzner, C.; Stonis, M.; Nyhuis, P.: Konzept eines Expertensystems zur automatisierten Layout- und Transportmittelpassung. In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Carl Hanser Verlag, 114. Jg. (2019), H. 3, S. 91-95. DOI: 10.3139/104.112054.
- [Kri12] Krieger, W.; Klaus, P.; Krupp, M.: Gabler Lexikon Logistik: Management logistischer Netzwerke und Flüsse. 5.

- Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden 2012
- [Kru15] Kruse, R. et al.: Computational Intelligence. Eine methodische Einführung in Künstliche Neuronale Netze, Evolutionäre Algorithmen, FuzzySystemen und Bayes-Netze. 2. Aufl., Springer Fachmedien, Wiesbaden 2015.
- [Mar99] Martin, H.: Praxiswissen Materialflußplanung: Transportieren, Handhaben, Lagern, Kommissionieren. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 1999
- [Mar16] Martin, H.: Transport und Lagerlogistik: Systematik, Planung, Einsatz und Wirtschaftlichkeit, 10.Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden 2016
- [Mül19] Müller, M.; Lebbing, S. P.; Stonis, M.: Methode zur Bestimmung des Automatisierungsgrads von Lager-, Kommissionier- und Transportsystemen. In: Logistics Journal, vol. 2019. ISSN 1860-5923.
- [Nyh14] Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.: Handbuch Fabrikplanung: Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. 2.Auflage, Hanser, München, Wien 2014
- [Utt15] Uttendorf, S.; Overmeyer, L.: Fuzzy-enhanced path-finding algorithm for AGV roadmaps. 16th World Congress of the International Fuzzy System Association (IFSA), 9th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT), 2015 Atlantis Press
- [Utt16] Uttendorf, S.; Eilert, B.; Overmeyer, L.: "A fuzzy logic expert system for the automated generation of roadmaps for automated guided vehicle systems," 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Bali, 2016, pp. 977-981.
- [Ott01] Ott, N.: Unsicherheit, Unschärfe und rationales Entscheiden. Die Anwendung von Fuzzy-Methoden in der Entscheidungstheorie. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2001.
- [Pfe89] Pfeifer, H.: Grundlagen der Fördertechnik. 5. Auflage, Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden 1989
- [Tra94] Traeger, D. H.: Einführung in die Fuzzy-Logik. 2. Aufl., Teubner, Stuttgart 1994.
- [Zim93] Zimmermann, H.-J.: Prinzipien der Fuzzy-Logik. In: Spektrum der Wissenschaft, Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Jg. (1993), H. 3, S. 90 ff.
-
- M. Sc. Christian Kutzner**, Project Engineer, IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH. Christian Kutzner was born 1993 in Hanover, Germany. Between 2012 and 2018 he studied Industrial Engineering at the Leibniz University of Hanover.
- Address: IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH, Hollerithallee 6, 30419 Hannover, Germany,
E-Mail: kutzner@iph-hannover.de
- M. Sc. Felix Lucas**, Scientific Assistant, IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH. Felix Lucas was born 1993 in Ochtrup, Germany. Between 2013 and 2020 he studied Industrial Engineering at the Leibniz University of Hanover.
- B. Sc. Can Sönmez**, Scientific Assistant, IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH. Can Sönmez was born 1994 in Hamm, Germany. Since 2013 he studies Mechanical Engineering at the Leibniz University of Hanover.
- Dr.-Ing. Malte Stonis**, managing director, IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH. Dr.-Ing. Malte Stonis, born in 1979, studied mechanical engineering at the Leibniz Universität Hannover. In 2006, he joined the IPH as a project engineer. In 2008, he became manager of the IPH process technology department. Malte Stonis has been coordinating managing director of the IPH since September 2016. His research focuses on increasing the efficiency and digitization of production, circular economy, disruption and humans in the digitized and automated production. Dr. Stonis is also a coach and mentor for startups in the field of production technology.
- Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis**, member of the management board of IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH. Peter Nyhuis was born in 1957. He studied mechanical engineering at the Leibniz University of Hanover. After obtaining his doctorate in engineering, he habilitated before working as a manager in the field of supply chain

management in the electronics and mechanical engineering industry. Since 2003 he has been head of the Institute for Factory Plants and Logistics (IFA) at Leibniz University of Hanover. In 2008 he took over the function of a managing partner of IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH.

Förderhinweis:

Das IGF-Vorhaben 19994 N/1 der Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V. wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.