

Struktur- und Steuerungskonzept für ein metamorphes 3D-Transportsystem für große und komplexe Gebäude

Dipl.-Ing. Christian Müller

Institut für Maschinenwesen im Baubetrieb / Abt. Automation und Robotik

Universität Karlsruhe (TH)

76128 Karlsruhe, Germany

e-mail:

christian.mueller@bau-verm.uni-karlsruhe.de

Abstract

In diesem Artikel wird das Konzept für ein Transportsystem (TS) vorgestellt, das den gewachsenen Anforderungen an die Mobilität und Flexibilität in komplexen und intelligenten Gebäuden genügt. Im Gegensatz zu heute existierenden Transportsystemen wird der Transportvorgang dezentralisiert und parallelisiert. Zum Einsatz kommen autonome kleinere Transporteinheiten (TU), die Anpassungen an die Wegplanung selber vornehmen können und die Möglichkeit zum Zusammenschluß zu größeren Transporteinheiten haben. Diese Transporteinheiten können sich auf einem verknüpften Wegenetz frei bewegen. Zusätzlich zur zentralen Steuerung, die rechenintensive Bahnplanungen erledigt, erhält jedes Fahrzeug eine gewisse Intelligenz. Der Rechner der TU übernimmt nach Abfahrt komplett die Steuerung und kann selbständig nach gewissen Strategien Änderungen am Fahrvorgang vornehmen. Die Information zum Status Quo der anderen TUs erhält er aus einer virtuellen Nachbildung des Zustandes des TS im Gebäude. In dieser virtuellen Welt können die TUs alle für sie oder für andere TUs wichtigen Informationen abholen bzw. ablegen. Zusätzlich dazu werden die TUs in Form von Softwareagenten im System abgebildet und weisen ihren realen Pendanten den Weg innerhalb des TS.

1. Einleitung

Vor allem bei großen multifunktionalen Gebäudekomplexen tritt neben erhöhten Anforderungen an das Facility-Management immer mehr ein anderes Problem in den Vordergrund: Das Transportproblem. Schon während des Bauprozesses und noch mehr während des Betriebs von Bürohochhäusern, Kongreßzentren und Flughäfen werden sehr große Mengen an Waren, Material und Personen befördert. Die Multifunktionalität der Gebäude tut das Ihre um diese Problematik noch zu erhöhen. Die zeitlichen Anforderungen an die Planung und Steuerung solcher Waren- und Personenflüsse sind enorm. Zudem zeichnet sich ab, daß klassische eindimensionale Transportsysteme wie Aufzüge, Laufbänder und Kräne ihre technologischen und kapazitiven Grenzen erreichen. Aufzugschächte in Bürohochhäusern nehmen schon heute einen erheblichen Teil der nutzbaren Fläche in Anspruch. Eine weitere Steigerung der Stockwerksanzahl ist deshalb kaum mehr wirtschaftlich. Deshalb ist es wichtig Transportsysteme zu koppeln, zu parallelisieren und auch neue räumlich ausgerichtete Transporteinheiten einzusetzen, die dem Anspruch an Kapazität, Schnelligkeit und Flexibilität gerecht werden. Dieses sich ständig neu an die auftretenden Randbedingungen anpassende -also metamorphe- Transportsystem erfordert dann auch ein neuartiges Informations- und

Steuerungskonzept, das die durch die Verknüpfung enorm anwachsenden Planungs- und Überwachungsaufgaben bewältigen kann.

2. Vorüberlegungen/Anforderungen

Die jetzige Transportsituation in großen Gebäuden ist geprägt durch zentral platzierte, große eindimensionale Transportsysteme (*TS*). Vertikal sind dies in erster Linie Gruppen von Aufzügen und bei großem horizontalen Verteilaukommen auch Laufbänder. Diese *TS* haben sehr große Beförderungskapazitäten. Die dann folgende individuelle Verteilung von Waren und Personen funktioniert auf konventionellem Wege manuell und zu Fuß und ohne Unterstützung eines hochentwickelten *TS*. Diese Struktur impliziert eine Aufteilung des Gebäudekomplexes in zentrale (*ZB*) und dezentrale Bereiche (*DB*). Kennzeichen der *ZBs* ist eine schnelle und gute Transportanbindung mit der Konsequenz, daß der komplette Transportfluß dieses Zentrum auch passiert. Dies kann in einigen Fällen erwünscht sein, bringt aber im allgemeinen Probleme der Überbeanspruchung dieser Bereiche mit sich. Die dezentralen Bereiche haben den Vorteil, daß nur die für sie bestimmten Waren und Personen ihre Zone passieren, der Zugang aber zeitintensiv und schwierig ist.

Aufgrund wachsender Anforderungen an Flexibilität bezüglich Nutzung und Umnutzung und Erweiterungsmöglichkeiten setzt man in immer größerem Maße standardisierte und modulare Komponenten ein. Auch der Trend zur vollautomatischen Fertigung solcher Gebäude zwingt zum Einsatz von standardisierten Elementarzellen. Dies begünstigt eine neue strukturelle Sichtweise des Gebäudes, die Grundlage für das neue Transportsystem ist. Im folgenden wird versucht von einem hohem Abstraktionsniveau durch konzeptionelle Überlegungen auf die Anforderungen an das *TS* zu schließen.

Der Idealfall sieht eine funktionelle Gleichbewertung aller Gebäudebereiche vor. Zerlegt man zur Veranschaulichung das Gebäude idealisiert in gleich große Volumenelemente so gibt Fig.1 eine Idee von der veränderten Gebäudephilosophie.

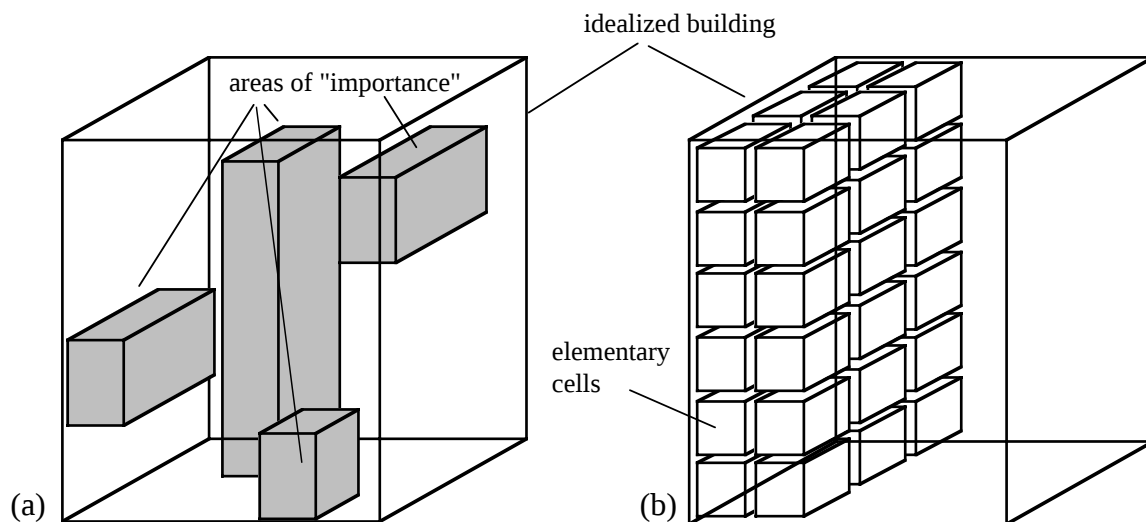


Fig. 1: Abstraktion des Gebäudes durch Zerlegung in Elementarzellen

Fig.1a zeigt die klassische Aufteilung des Gebäudes mit festgelegten Bereichen hoher und niedriger „Wichtigkeit“, während Fig. 1b die Zerlegung in gleichwertige Volumenelemente zeigt. Man sieht deutlich, daß dieses Konzept die Modularität und die Standardisierung stärker berücksichtigt.

Dieser modulare Ansatz ist natürlich nicht neu, aber die Grundlage für das Verständnis des neuen Transportsystems. Es lassen sich daraus erste Forderungen an das *TS* ableiten:

- *Gleiche qualitative und kapazitive Anbindung aller Elementarzellen*
- *Nutzbarkeit des TS in allen Elementarzellen*
- *Beliebige Erweiterbarkeit*

Aufgrund unterschiedlicher Funktionalität verschiedener Gebäudebereiche ergibt sich ein räumlich nicht gleichmäßig verteiltes Transportaufkommen. Die modulare Aufteilung bietet zudem die Möglichkeit, mehrere Elementarzellen zu funktionalen und thematischen Gruppen zusammenzufassen und dadurch dem Gebäude eine logische Struktur zu geben. Fig.2 zeigt eine funktionelle Zerlegung des Gebäudes zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten. Die übrigen Elementarzellen wurden der Übersichtlichkeit halber in der Skizze weggelassen.

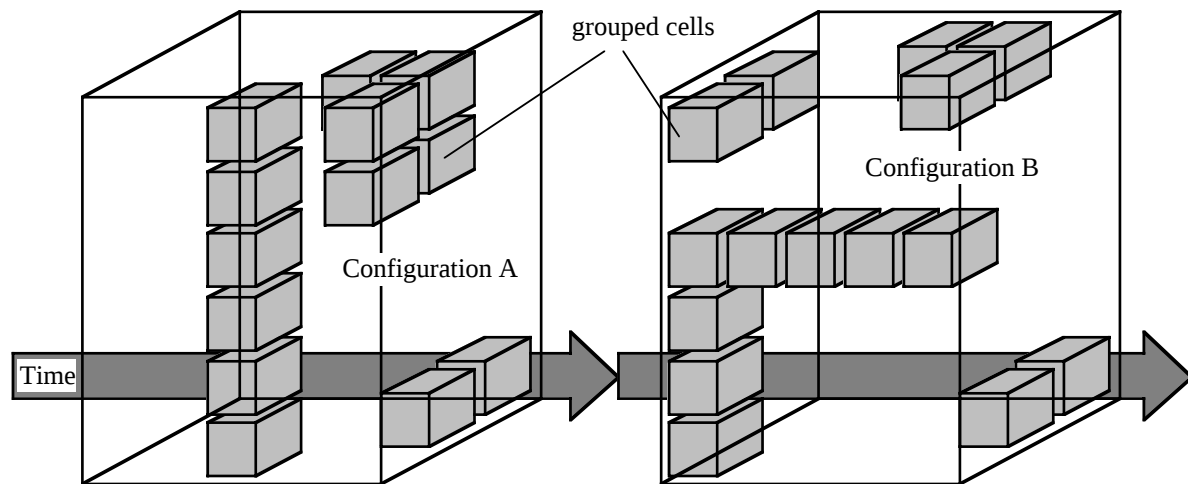


Fig.2: Änderung der funktionalen Gruppierung von Elementarzellen

Im Hinblick auf die flexible Nutzung und die Erweiterbarkeit sind diese funktionalen Gruppen von Elementarzellen zeitlich und räumlich nicht konstant sondern metamorph. Dies wird durch den Umstand begünstigt, daß man wegen der hohen Investitionen bestrebt ist, das Gebäude so lange wie möglich zu nutzen. Diese lange Lebensdauer des Gebäudes ist nur möglich, wenn es sich ständig an die Nutzungsanforderungen anpassen läßt. Die Zeitabstände zwischen Gruppierungsveränderungen sind aber als hinreichend groß zu gewährleisten, da jede funktionale oder thematische Zusammenfassung einen Folgeaufwand nach sich zieht, der zu rechtfertigen ist.

Das TS muß dies berücksichtigen. Es folgt daraus folgende Forderung:

- *Transportsystem muß sich an funktionale und themenbezogene Gruppierungen in qualitativen und quantitativen Aspekten in mittelfristigen Zeitrahmen anpassen lassen.*

Es gibt natürlich auch noch zeitlich schnell schwankende Anforderungen an das Transportsystem. Dies kann periodisch z.B. bei täglichen Stoßzeiten auch als Einzelevent z.B. bei Veranstaltungen, Umbauarbeiten usw. auftreten. Um diesem gerecht zu werden, fordert man für das TS außerdem:

- *Der Fluß innerhalb des TS muß sich kurzfristig sowohl in kapazitiver, als auch in räumlicher Hinsicht anpassen lassen.*

Von der Menge an zu befördernden Gütern und Personen die in direktem Bezug zum Gebäude stehen, ist sicher ein großer Teil schon während der Bauphase zu transportieren. Die Idee ist deshalb, das zu realisierende TS teilweise schon zu Bauzeiten zu nutzen. Hier bietet sich vor allem Material und Personenbeförderung während des Innenausbaus an. Dadurch läßt sich der Aufbau eines auf den Bauprozess beschränkten TS teilweise reduzieren, der Materialfluß verbessern und Kosten einsparen. Eventuell können so Mehrkosten für ein moderneres und

flexibleres TS im Gegensatz zu konventionellen Lösungen vermieden werden. Es ergibt sich also als Forderung:

- *TS muß schon während der Rohbauphase installiert werden und abschnittsweise in Betrieb genommen werden.*

Unter Berücksichtigung der oben theoretisch postulierten Forderungen kann man ein System ableiten, daß die Forderungen nach Möglichkeit alle optimal erfüllt. Dies wird sicherlich nicht immer möglich sein, da sich gewisse Forderungen widersprechen. In diesen Fällen muß nach einem guten Kompromiß gesucht werden.

3. Realisierungskonzept

Im folgenden versuche ich das Konzept des Transportsystems zu erläutern. Dabei versucht man, die einzelnen Entwicklungsstufen möglichst klar den vorab erläuterten Forderungen zuzuordnen. Da im Rahmen dieses Artikels nur auf das strukturelle Konzept eingegangen wird, wird auf Betrachtung der technischen Realisierung verzichtet.

Zu einer ersten strukturellen Vorstellung über das TS kommen wir durch Inbetrachtnahme der Abstraktion des Gebäudes in Elementarzellen. Die Idee ist dabei, auch das gesamte TS in nicht mehr teilbare Einheiten zu zerlegen. Diese heißen im folgenden Transport Units (TU). Diese TUs bewegen sich auf festgelegten eindimensionalen Bahnen. Die Ausweitung des eindimensionalen auf das dreidimensionale TS erfolgt durch die Installation von Bahnen spezielle Raumrichtungen (hier: in x, y und z-Richtung) zu einem räumlichen Gitter. Die einzelnen Bahnen werden an ihren Kreuzungspunkten (CP) verknüpft. Bei entsprechender Wahl des Bahnabstandes kann so jede Zelle mit TUs bedient werden. Das Flächenverhältnis der Elementarzelle zu TS ist konstant. Dies bedeutet, daß der Flächenbedarf für das TS proportional mit der erweiterten nutzbaren Fläche steigt und somit kein Mißverhältnis von nutzbarer und Transportfläche entsteht. Fig.3 zeigt eine TU auf einer eindimensionalen Bahn und die Ausweitung auf drei Dimensionen.

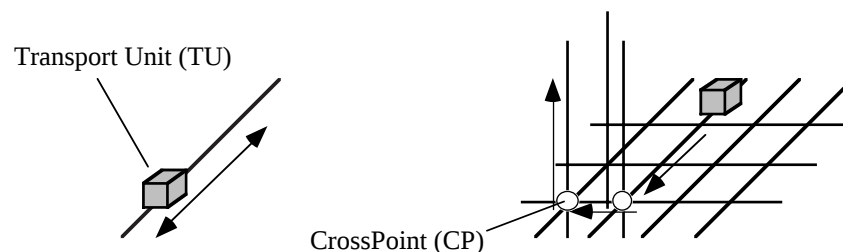


Fig.3: Dreidimensionalität durch Verknüpfung

Durch den Einsatz von entsprechend vielen TUs d.h. einer Parallelisierung der Transportaufgabe und der sehr großen Anzahl von verschiedenen Pfaden kann man so jeden Bereich im Gebäude entsprechend seines Transportaufkommens bedienen.

Wichtig ist hierbei zu bemerken, daß es sich um ein homogenes TS handelt. Dies bedeutet, daß man nicht unterschiedliche Transportsysteme kombiniert. Dadurch erreicht man eine Vermeidung des Übergabeproblems der Güter von einem Transportsystem zum anderen. Diese Übergänge von einem Transportsystem zum anderen behindern den Transportfluß und verursachen erhöhten Installationsbedarf und Kosten. Diese Homogenität des TS ist außerdem Grundvoraussetzung für die Schaffung zusätzlicher Applikationen auf der bestehenden Transportinfrastruktur.

Um Kollisionen zweier TUs zu vermeiden können unidirektionale Bahnen richtungsabwechselnd installiert werden. Es wäre natürlich auch möglich, bidirektionale Bahnen zu benutzen und die Kollisionstest softwaretechnisch zu realisieren. Es gibt hierbei aber

einige Nachteile, die dieses Vorgehen ausscheiden lassen. Ein wesentlicher Nachteil ist, daß schon bei einer verhältnismäßig geringen TU-Dichte der Rechenaufwand für die Entflechtung der Bahnen so groß wird, daß dies in tolerierbaren Zeitenräumen nicht mehr möglich ist. Während dieser Zeit würden sich die TUs gegenseitig blockieren. Es würde also bedeuten, daß sich die Anzahl der eingesetzten TUs nicht nach dem Transportaufkommen, sondern nach der Rechnerkapazität richtet. Dies widerspricht der Forderung nach „unbegrenzter“ Erweiterbarkeit. Ein weiterer Nachteil sind dann auch häufige Richtungswechsel, die den Verkehrsfluß stören.

Vor allem in z-Richtung ist die Unidirektionalität eine entscheidende Verbesserung. Betrachtet man einen klassischen Aufzug, so erkennt man, daß aufgrund der Bidirektionalität nur eine Transporteinheit auf der ganzen Länge plazieren kann. Bedenkt man nun noch, daß die zu transportierenden Güter oder Personen alle unterschiedliche Start- und Zielpunkte haben, erkennt man leicht, daß die Effektivität eines solchen Aufzugsystems mit der Länge abnimmt. Kapazitätssteigerungen und Verminderung von Wartezeiten sind nur durch Erhöhung der Anzahl der Aufzugsysteme möglich. Unidirektionale Systeme hingegen können im Idealfall Transportvolumen über die gesamte Aufzuglänge verteilt zur Verfügung stellen. Die Transportkapazität wächst somit mit steigender Länge, ohne zusätzliche Grundfläche zu belegen. Dies Prinzip wurde bei Paternostern schon realisiert. Fig.4 zeigt eine bidirektionales und ein unidirektionales System mit gleicher Grundfläche.

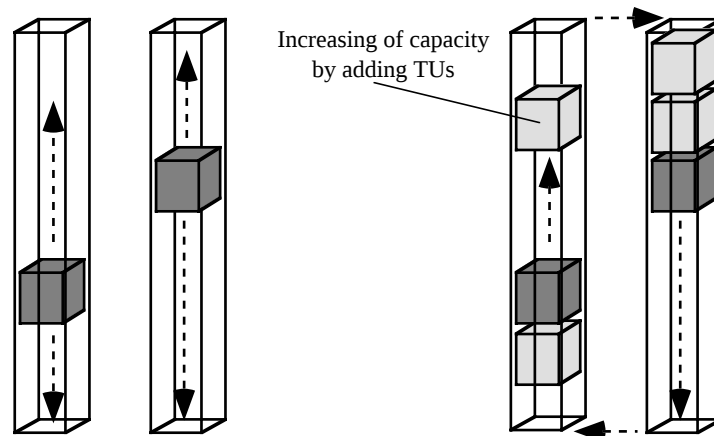


Fig.4: Vergleich eines bi- mit einem unidirektionalen Aufzugsystems

Im unidirektionalen Fall kann man die Transportkapazität durch Einfügen weiterer TUs erhöhen.

Um jede Elementarzelle direkt d.h. ohne lästiges „Umfahren“ versorgen zu können, sollten diese jeweils von allen Seiten bedient werden können. Dies ist beim Einbahnstraßenprinzip umso wichtiger, da die „Umfahrwege“ deutlich zunehmen. Fig.5 zeigt das uni- und bidirektionale Befahren des TS im zweidimensionalen Fall.

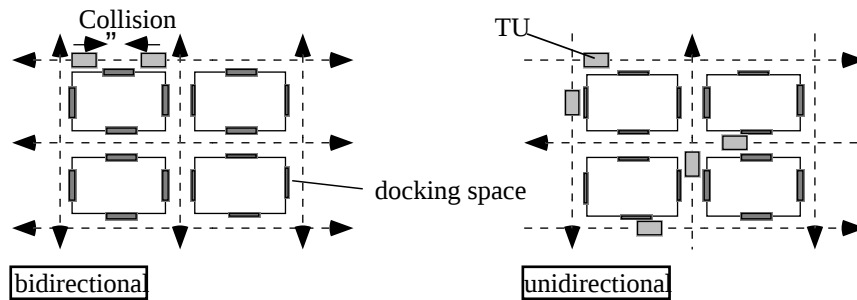


Fig.5: Unidirektionale Bahnen zur Verhinderung von Kollisionen

Theoretisch läßt sich die Transportkapazität für stark frequentierte Gebäudebereiche durch die Erhöhung der Anzahl von autonomen *TUs* nahezu beliebig erhöhen. Dies ist der Fall zur Versorgung öffentlich zugänglicher Zonen im Gebäude wie z.B. Galerien, Restaurants, Hörsäle usw. Hier ist es sinnvoller geschlossene ringförmige Bahnsysteme zu schaffen, auf denen ständig eine anforderungsabhängige Anzahl von *TUs* zirkulieren. Die benutzten *CPs* sind dazu speziell umzurüsten um einen reibungslosen Richtungswechsel zu gewährleisten. Dabei ist sogar zu überlegen, ob man hierfür nicht sogar spezielle Rampen entwickelt, die ein Einsteigen in sich bewegende *TUs* ermöglicht. Dies spart Energie durch das Wegfallen des Beschleunigungs- und Bremsvorganges und erhöht zusätzlich die Kapazität erheblich. Diese besonderen Bahnsysteme sind aber weiterhin von anderen *TUs* nutzbar, wobei aber zirkulierende *TUs* eine höhere Priorität (Vorfahrt) haben. Fig.6 zeigt im zweidimensionalen Fall die Schaffung einer solchen geschlossenen Bahn, die die dunkel unterlegten wichtigen Gebäudezonen verbindet. Solche zirkulären Systeme bieten höchste Transportkapazitäten pro Fläche und Zeit, da im Idealfall die gesamte Wegstrecke mit Transporteinheiten belegt werden kann. Im zweidimensionalen Fall ist das Prinzip bei Kofferausgabebändern in Flughäfen und in z-Richtung als Paternoster bekannt. Mit unserem System können solche geschlossenen Strukturen auch dreidimensional realisiert werden.

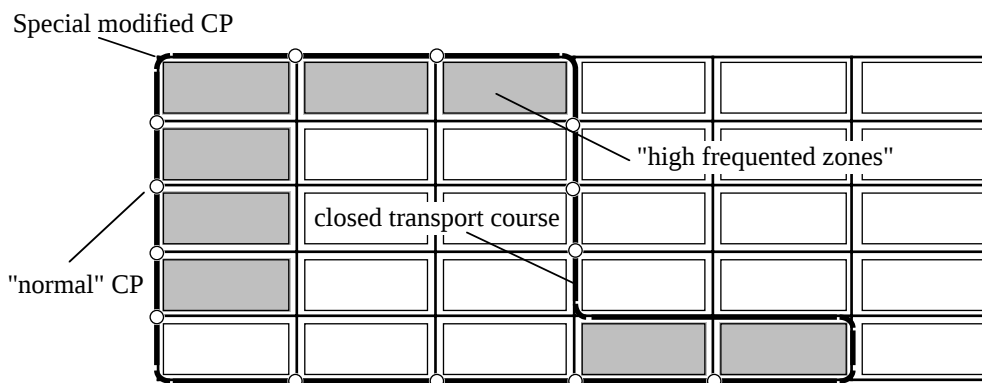


Fig.6: Geschlossenes Bahnsystem im zweidimensionalen Fall

Die für den zirkulären Betrieb modifizierten *CPs* sind speziell dafür reserviert d.h. andere *TUs* können diese Übergänge nicht mehr nutzen. Alle anderen *CPs* bleiben aber offen und können beliebig genutzt werden.

Es ist einleuchtend, daß die diese Umrüstung Zeit kostet und nur in Fällen einer mittelfristigen funktionellen Zusammenfassung gewisser Elementarzellen wirtschaftlich und technisch sinnvoll ist. Außer diesen mittel- und langfristigen Änderungen im Transportfluß gibt es aber auch sehr kurzfristige Schwankungen. Diese sind z.B. Stoßzeiten in Büros und Geschäften, Versammlungen usw.

Um mit diesem Problem fertig zu werden, schafft man die Möglichkeit mehrere *TUs* zu Gruppen (*TUG*) zusammenzufassen und diese Gruppe dann logisch wie eine *TU*, aber mit höherer Priorität aufzufassen. Dies hat mehrere Vorteile:

- *TUGs* setzen sich bei der Bahnplanung gegenüber einzelnen *TUs* durch und wählen den kürzesten und schnellsten Weg.
- Der Steuerungsaufwand ist für eine *TUG* bei vielfacher Transportkapazität nahezu gleich
- *TUG* genießt an *CPs* Priorität und hat somit konstante Geschwindigkeit und keine Wartezeiten

Fig.7 zeigt eine Momentaufnahme der Situation, daß eine *TU* auf das Passieren einer *TUG* wartet.

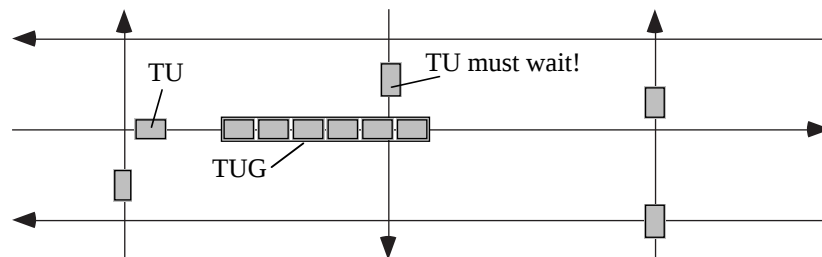


Fig.7: *TUG* hat an *CPs* höhere Priorität

Wichtig ist es, daß man die *TUG* nicht als physikalisch größere Einheiten betrachtet, sondern als temporär logisch zu größeren Einheiten verbundene *TUs*. Diese Zuordnung kann auch von den *TUs* selbst initiiert werden. Auf dem Weg von Start zum Ziel ist es ein Ziel der autonomen *TUs* Partner zu finden, um ihre Priorität zu erhöhen. Dabei kann eine *TU* auch durchaus nur einen Teil ihres Weges innerhalb einer *TUG* zurücklegen und sich dann wieder abspalten. Diesen Vorgang zeigt Fig.8.

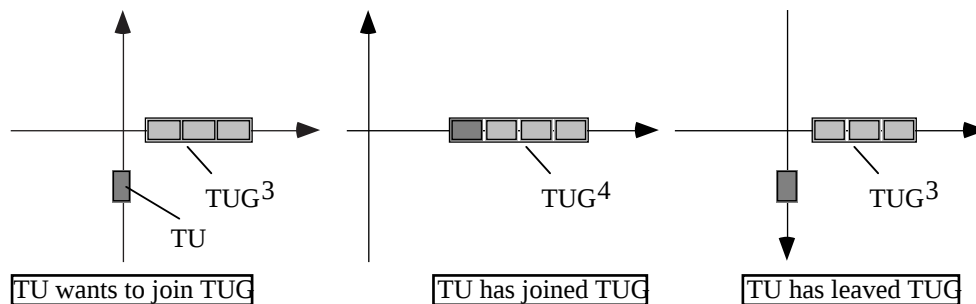


Fig.8: Temporäres Anschließen an *TUG*

Die letzte Forderung an das System ist die der Nutzbarkeit schon während des Rohbaus. Daraus folgen eher implementelle als strukturelle Konsequenzen, da die oben erläuterte Funktionalität geradezu ideal die Transportvorgänge während des Baus unterstützt. Wichtig ist deshalb zu berücksichtigen, daß die *TUs* robust sind und sich leicht für Bau- oder Betriebsphase des Gebäudes umrüsten lassen.

4. Steuerungskonzept

Es ist leicht ersichtlich, daß bei einer großen Anzahl von *TUs* und der sehr großen Anzahl von möglichen Pfaden zwischen Start- und Zielpunkt eine einzige zentrale Steuerung für alle *TUs* aufgrund der Rechenzeit ausscheidet. Deshalb spaltet man die gesamte Steuerung in drei Teile: Es gibt eine zentrale Steuerung und eine kleiner dimensionierte Steuerung auf jeder *TU*.

Dieser übernimmt nach dem Losfahren die Kontrolle über das Fahrzeug und ist dann für die Dauer des Transportweges autonom. Zusätzlich gibt es einen Rechner der nur die Aufgabe hat, ein virtuelles Abbild der *TS* zu verwalten.

4.1. ZENTRALE STEUERUNG

Die zentrale Steuerung hat im wesentlichen drei Aufgaben. Die erste ist die Registrierung und Weiterleitung aller Anforderungssignale. Ausgehend von diesen Signalen sucht es eine oder mehrere geeignete freie *TUs* die den Transportvorgang übernehmen können. Diese *TUs* werden an den Ort des Anforderungssignals beordert. Gleichzeitig sucht die Zentralsteuerung (*ZS*) vom Start- zum Zielpunkt z.B. mittels genetischer Suchalgorithmen einen möglichst kurzen und schnellen Weg. Hierbei werden Status des *TS*, Vorhandensein von geschlossenen Bahnsystemen und andere Faktoren zu berücksichtigen. Wie man den Status Quo des *TS* abbildet wird später näher erläutert. Diese Grobplanung wird der *TU* übermittelt und dann das Startsignal erteilt. Zusätzlich dazu hat die *ZS* noch die Aufgabe, als oberste Instanz sich selber blockierende Situationen zu lösen, die bei der lokalen Bahnplanung der *TUs* auftreten können.

4.2. LOKALE STEUERUNG DER TU

Jede Transporteinheit besitzt eine eigene Steuerung, die nach dem Start voll die Kontrolle über das Fahrzeug übernimmt. Jede *TU* hat die Möglichkeit über ein Informationsnetzwerk mit dem *ZS* und auch mit anderen *TUs* zu kommunizieren. Der lokale Rechner hat dabei zuerst natürlich die Aufgabe, die Funktionsfähigkeit der *TU* zu überwachen. Während der gesamten Fahrt überwacht er vorausschauend seinen von der *ZS* geplanten Weg. Gibt es Anzeichen für Wartezeichen, Anhäufungen von *TUs* oder sonstige Vorkommnisse nimmt er eigenständig eine Änderung der Bahnführung vor. Die Information über den Zustand des *TS* in seiner Umgebung entnimmt er dem Rechner in dem das virtuelle Abbild des *TS* verwaltet wird. Jede *TU* hat die Möglichkeit in diesem Rechner einen persönlichen Agenten abzusetzen, der dann prädiktiv Situationen durchspielt.

4.3. VIRTUELLE SIMULATIONSPLATTFORM

Dieser Rechner erfüllt zwei Aufgaben. Die erste ist die Speicherung des momentanen Status des gesamten *TS*. Dazu gehören Positionen, Geschwindigkeiten, ungefähre Ankunftszeitpunkte, Vereinigungswünsche der einzelnen *TUs*. Dabei werden die Daten möglichst an räumlichen Gegebenheiten strukturiert. Dies bedeutet z.B., daß die Information über Ankunftszeitpunkte und Vereinigungswünsche in Verbindung des jeweiligen *CPs* gespeichert werden. So werden dann Bahnkurven einzelner *TU* von *CP* zu *CP* abgesteckt d.h. reserviert.

Zusätzlich zur Abbildung des Status des *TS* bietet die Plattform auch noch die Möglichkeit eines virtuellen „Spielplatzes“. Dabei wird das *TS* mit allen relevanten Informationen nachgebildet. In diesem virtuellen *TS* kann jede *TU* einen Agenten absetzen, der mit den Agenten anderer *TUs* mögliche Bewegungsszenarien durchspielt. Dabei können diese Agenten unterschiedliche Strategien verfolgen. Ziel der Survival-Strategie könnte es z.B. sein ohne Rücksicht auf andere schnellstmöglich den Endpunkt zu erreichen, während eine kooperative Strategie für einen Ausgleich zwischen den Forderungen der einzelnen *TUs* sucht. Ziel ist es, das komplette *TS* strukturell, aber auch die *TUs* virtuell abzubilden.

Dann muß man nur noch die Kommunikation zwischen *TU* und seinem persönlichen Agenten sicherstellen, der die *TU* aufgrund der Daten in der virtuellen Welt durch die reale leitet. Ein weiterer Vorteil wäre, daß man langfristige Veränderungen am *TS* wie z.B. Realisierung zirkulärer Bahnsysteme vorher auf Tauglichkeit prüft, in dem man dieses System mit möglichst realistischen Vorgaben simuliert.

Fig.9 skizziert noch einmal die drei Hauptkomponenten der Steuerung.

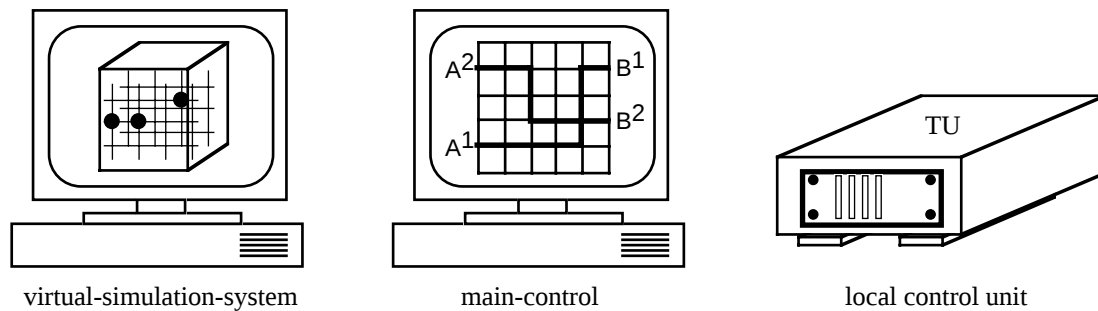


Fig.9: Aufteilung der Steuerung in drei Komponenten

Weitergehende Nutzungsmöglichkeiten

Das vorliegende System mit wahlfrei zu befahrender Bahnen und kleinen autonome TUs bietet in geradezu idealer Weise die Basis für den Einsatz von intelligenten Servicesystemen. Intelligente Service-Terminals können direkt mit einem zentralen Computersystem kommunizieren, der die Servicedienste plant und die dafür benötigte Transportkapazität bei der ZS anfordert.

Aufgrund der Tatsache, daß sich die TU physikalisch vom Start- zum Zielpunkt ohne Umladen der Waren bewegt, sind Warenverteilvorgänge hervorragend zu automatisieren. Weiterhin ist denkbar, daß Service- oder Diagnoseroboter sich, unter Nutzung der vorhandenen Bahnsysteme, selbständig zu ihrem Einsatzort fahren und dort ihre Mission durchführen.

Diese wenigen Beispiele zeigen, daß, wenn erst einmal eine geeignete Infrastruktur vorhanden ist, unzählige Applikationen auf dieser Basis implementiert werden können.

Zusammenfassung

In diesem Artikel wurde ein Konzept für ein Transportsystem vorgestellt, das folgende Anforderungen erfüllt: Beliebige Erweiterbarkeit, konstantes Verhältnis von nutzbarem zu dem für das Transportsystem benötigten Raum, zeitlich und räumlich flexible Bündelung von Transportkapazitäten und mögliche Nutzung schon in der Bauphase. Grundgedanke des Systems ist die Aufteilung in kleinere autonome Transporteinheiten. Dadurch kann man Waren und Personen in beliebiger Weise und ohne Umsteigen an beliebige Orte des Gebäudekomplexes transportieren. Großen Transportströmen wird man durch den Zusammenschluß beliebig vieler TUs zu zirkulären Strukturen gerecht, die das Transportvolumen pro Zeit enorm steigern können.

Dem dadurch enorm gestiegenen Steuerungs- und Planungsaufwand entgegnet man durch die Einführung eines verteilten Systems. Dieses sieht eine einmalige zentrale Planung der Bahnen der TUs vor. Diese Wegbeschreibung wird den TUs übermittelt, die dann aber nach ihrem Start selbständig Änderungen an ihrer Bahn vornehmen können. Alle für diese Anpassungen nötigen Informationen z.B. Positionen und Priorität der anderen TUs erhält die Tu aus einer virtuellen Nachbildung des TS. Zusätzlich zur reinen Abfrage des Status kann jede TU einen intelligenten Agenten in die virtuelle Welt setzen, der in Konkurrenz zu anderen in der virtuellen Welt den für sich besten Weg sucht und die reale TU entsprechend leitet.

Technische Details wie z.B. Realisierung der Bahnsysteme, Bahnverknüpfungspunkte oder Ausführung der TUs für Material- oder Personenbeförderung bleiben in diesem Artikel unberücksichtigt.